

ATLAS TEMÁTICOS

RELACIÓN DE TÍTULOS

CIENCIAS EXACTAS

Atlas de Matemáticas (Análisis + Ejercicios)
Atlas de Matemáticas (Álgebra + Geometría)
Atlas de Física
Atlas de Química
Atlas de Prácticas de Física y Química

CIENCIAS COSMOLÓGICAS

Atlas de Geología
Atlas de Mineralogía
Atlas de la Naturaleza
Atlas de los Fósiles
Atlas de la Arqueología

CIENCIAS NATURALES

Atlas de Zoología (Invertebrados)
Atlas de Zoología (Vertebrados)
Atlas de Parasitología
Atlas de Biología
Atlas de Botánica

CIENCIAS PURAS

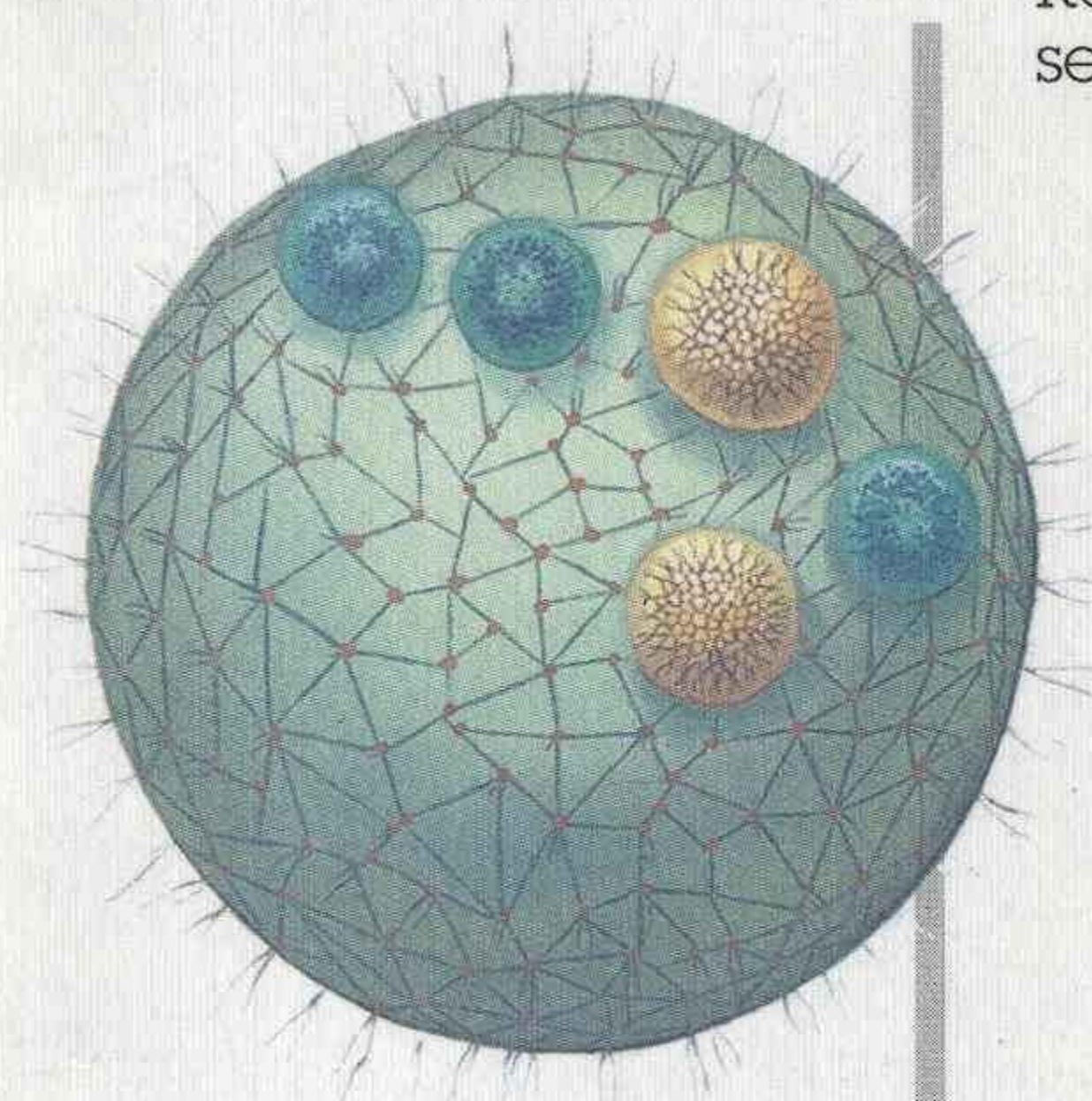
Atlas del Átomo
Atlas de la Astronomía
Atlas de la Meteorología
Atlas de la Microscopia
Atlas de la Informática

ANATOMÍA

Atlas de Anatomía Animal
Atlas de Anatomía Humana
Atlas del Cuerpo Humano
Atlas del Hombre
Atlas de la Cirugía

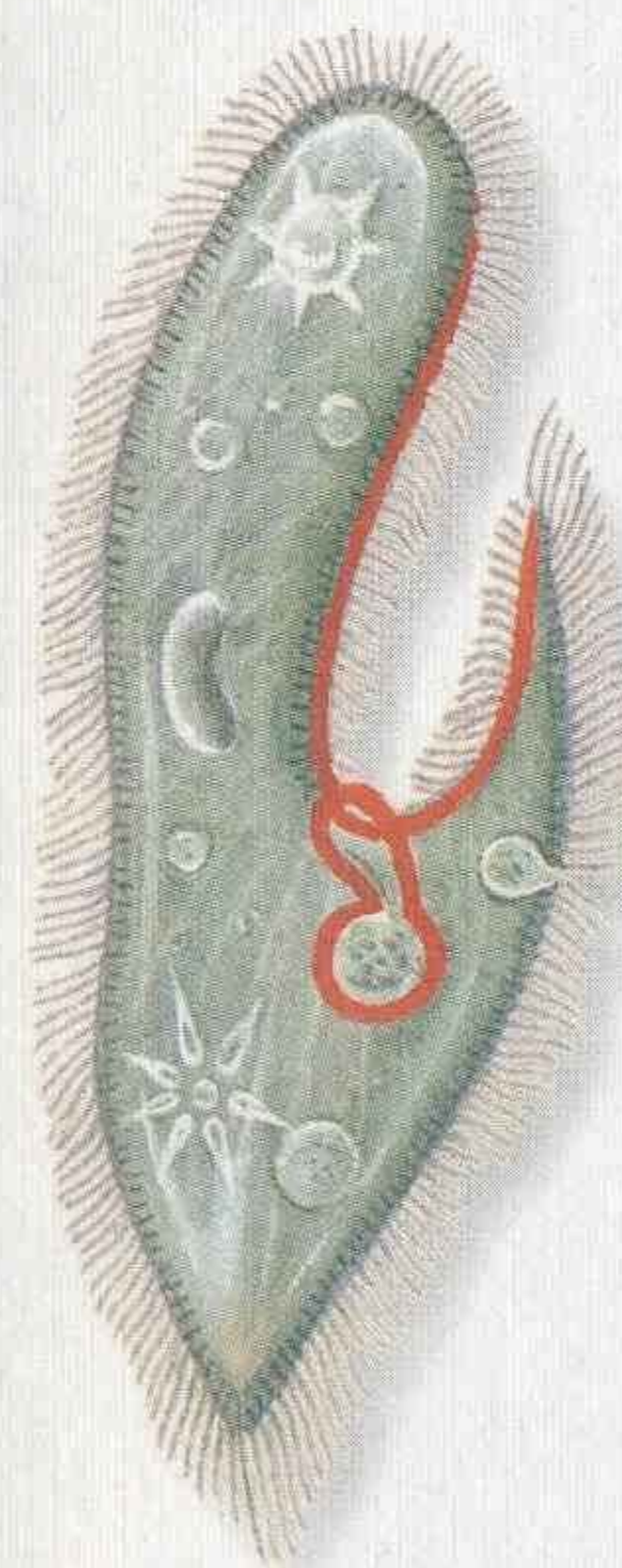
BIOLOGÍA

ATLAS TEMÁTICO BIOLOGÍA

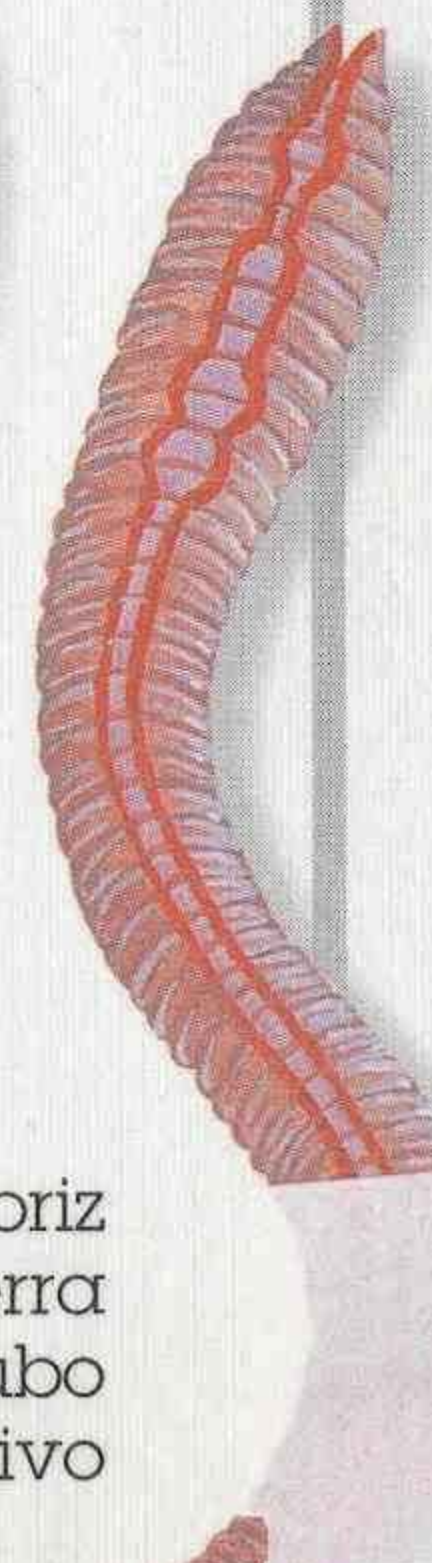


Reproducción
sexual de volvox

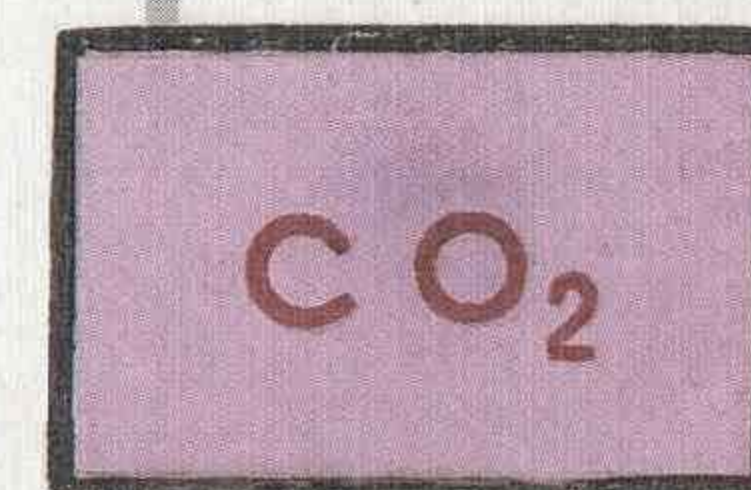
Paramecium



Lombriz
de tierra
con tubo
digestivo



Ciclo del carbono



BIOLOGÍA

Título de la colección
ATLAS TEMÁTICOS

Texto e ilustración
© 1996 **IDEA BOOKS, S.A.**

Redacción / A. de Haro Vega. Doctor en
Ciencia Biológicas. Catedrático de la
Facultad de Ciencias de Salamanca

Ilustraciones / Montserrat Fabra Hernández,
Juan María Castellar Bertrán, Carlos
Gutiérrez Marín, Santiago Prevosti Pelegrín,
José María Thomas-Doménech

Fotografías / S.E.F. (Torino)

Diseño de la cubierta / Lluís Lladó Teixidó

Printed in Spain by
Emegé, Industria Gráfica, Barcelona

EDICIÓN 1997

El progreso de la Biología ha sido muy lento debido a la complejidad del ser viviente. Es en el siglo XVIII cuando obtiene un empuje decisivo con Leeuwenhoek, que aplica las lentes de aumento al estudio del mundo microscópico, con Réaumur y Spallanzani, que utilizan el método experimental en el estudio de los fenómenos vitales, y con Linné, que pone orden, por medio de su nomenclatura binomial, al gran número de vegetales y animales descritos. En conjunto, crean una nueva forma de enfocar el estudio del ser vivo.

Esta nueva mentalidad, que hoy llamaríamos «científica», prepara la venida del siglo XIX, en que la Biología alcanza un gran desarrollo, sentándose las bases de esta Ciencia con nombres tan gloriosos como Lamarck, fundador de las doctrinas transformistas, Cuvier, al que se deben las bases de la anatomía comparada y es creador de la paleontología, Schleiden y Schwann, que elaboran la tan fructífera teoría celular de la constitución de los seres vivos, Pasteur, que establece los principios de la bacteriología, y Claude Bernard, que decreta los métodos de la moderna fisiología. Asimismo Mendel inicia el estudio de la herencia biológica y Darwin, con su teoría de la evolución, intenta proporcionar una visión unitaria del fenómeno de la vida.

Estos y otros hombres insignes hacen posible el florecimiento de la Biología actual, que estudia los procesos vitales en un plano físico-químico y, con los conocimientos que se poseen sobre los ácidos nucleicos, trata los fenómenos hereditarios al nivel molecular, presentando una problemática intrigante a la vez que prometedora.

En este Atlas se proporciona una visión panorámica sobre los fenómenos vitales a los interesados por la Biología en general, y, en particular, a los jóvenes que habrán de ingresar en la Universidad, ofreciéndoles una pequeña muestra del frondoso bosque de las ciencias biológicas, aún hoy apenas explorado, para que les sirva de estímulo en ir más allá, pues, en frase de Ramón y Cajal, «el mar tiene misteriosos abismos, la tierra guarda en sus entrañas el pasado de la vida y el organismo humano ofrece en cada célula una incógnita y en cada latido un tema de eterna meditación.»

EL AUTOR

6

bono se combina consigo mismo, propiedades éstas que constituyen la base de la formación de complejísticas sustancias orgánicas, compuestas alrededor de los núcleos -C-C-N-C-C-, base del edificio viviente. Se ha de hacer observar que el Silicio (Si), situado en la misma columna que el Carbono, pero con mayor peso atómico, no participa en la formación de estructuras vivas, pero en cambio es el fundamento del mundo mineral.

El Fósforo (P), situado en la misma columna que el Nitrógeno (N), se comporta de manera distinta al tener mayor peso atómico, y siempre está combinado con el oxígeno (O). Es de gran importancia en la captación de energía por la célula.

El Azufre (S) y el Oxígeno tienen como función primordial formar puentes de unión entre las moléculas para constituir armazones más complejos. Los elementos alcalinos, Sodio (Na) y Potasio (K), y alcalinotérreos, Magnesio (Mg) y Calcio (Ca), junto con el Cloro (Cl), intervienen en fenómenos de hidratación de las estructuras vivientes por su capacidad de dar iones. El Hidrógeno (H) tiene gran importancia por su poder de combinación con otros elementos y por intervenir en fenómenos respiratorios. Finalmente, Cobre, Cinc, Hierro y Manganese son de importancia para la realización de ciertas funciones de los seres vivos, entre ellas la respiración.

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS SERES VIVOS

Principios inmediatos.— Si se calienta carne o bien hojas en un tubo de ensayo, se observa cómo en las paredes del mismo se deposita una ligera capa de agua, indicando su presencia en la materia viva. Si se continúa calentando, queda finalmente un residuo de cenizas compuesto por sales minerales.

De la materia viviente puede separarse por procedimientos sencillos, puramente físicos, como la filtración, disolución y precipitación, un conjunto de sustancias llamadas *principios inmediatos*, tales como el agua, sales minerales y sustancias orgánicas llamadas glúcidos, lípidos y próticos, así como vitaminas y hormonas, todas ellas constituyentes del edificio viviente.

Importancia del agua.—La proporción de

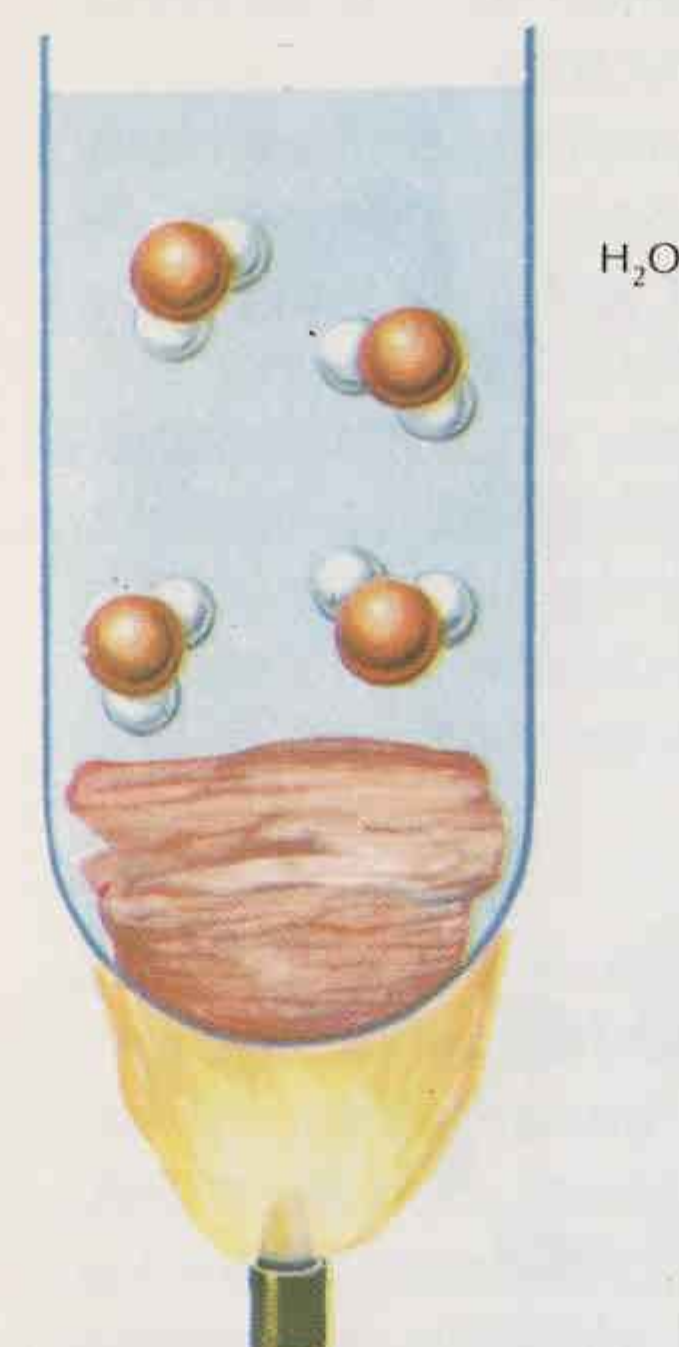
agua es diversa en los distintos organismos. *Pilema pulmo* es una medusa que tiene un 95,39 % de agua, mientras que en el grano de cebada hay solamente un 16 %.

Dentro de un mismo organismo se observa que los tejidos poseen más agua a medida que aumenta su actividad fisiológica. Los músculos del cuerpo humano contienen un 74 % y, cosa sorprendente, la sustancia gris del cerebro, centro de la sensibilidad y de la inteligencia, está formada por un 85 % de agua.

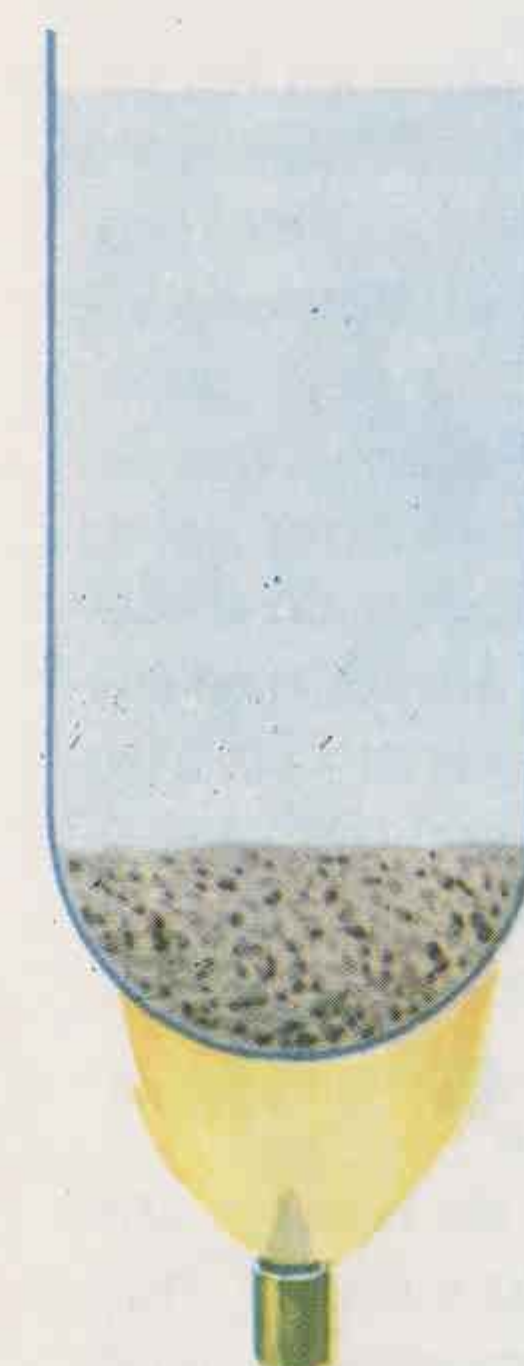
La función del agua es diversa: 1.º es el medio de transporte de las sustancias que entran y salen de los seres vivos, en la cual tienen que estar disueltas; 2.º confiere estructura y rigidez a los tejidos, haciéndolos plásticos; 3.º es la sustancia que necesita más calor para aumentar su temperatura en un grado por cm³ (calor específico), por lo que permite almacenar calor y amortiguar así los cambios bruscos de temperatura, tan nocivos para los organismos.

Importancia de las sales minerales.— Además del agua, se ponen en evidencia en los organismos las sales minerales, constituidas por Cloruros (Cl), Fosfatos (PO₄), Carbonatos (CO₃), Bicarbonatos (CO₃H) y Sulfatos (SO₄) de Sodio, Potasio, Calcio y Magnesio principalmente. La cantidad de dichas sales es baja en los organismos, aproximadamente un 4,3 % en las células de animales y un 2,5 % en las de los vegetales, pero su importancia es extraordinaria, ya que: 1.º algunas proteínas sólo son solubles en disoluciones de sales; 2.º regulan la acidez y contenido en agua de los humores orgánicos. y 3.º constituyen formaciones esqueléticas (huesos y caparazones).

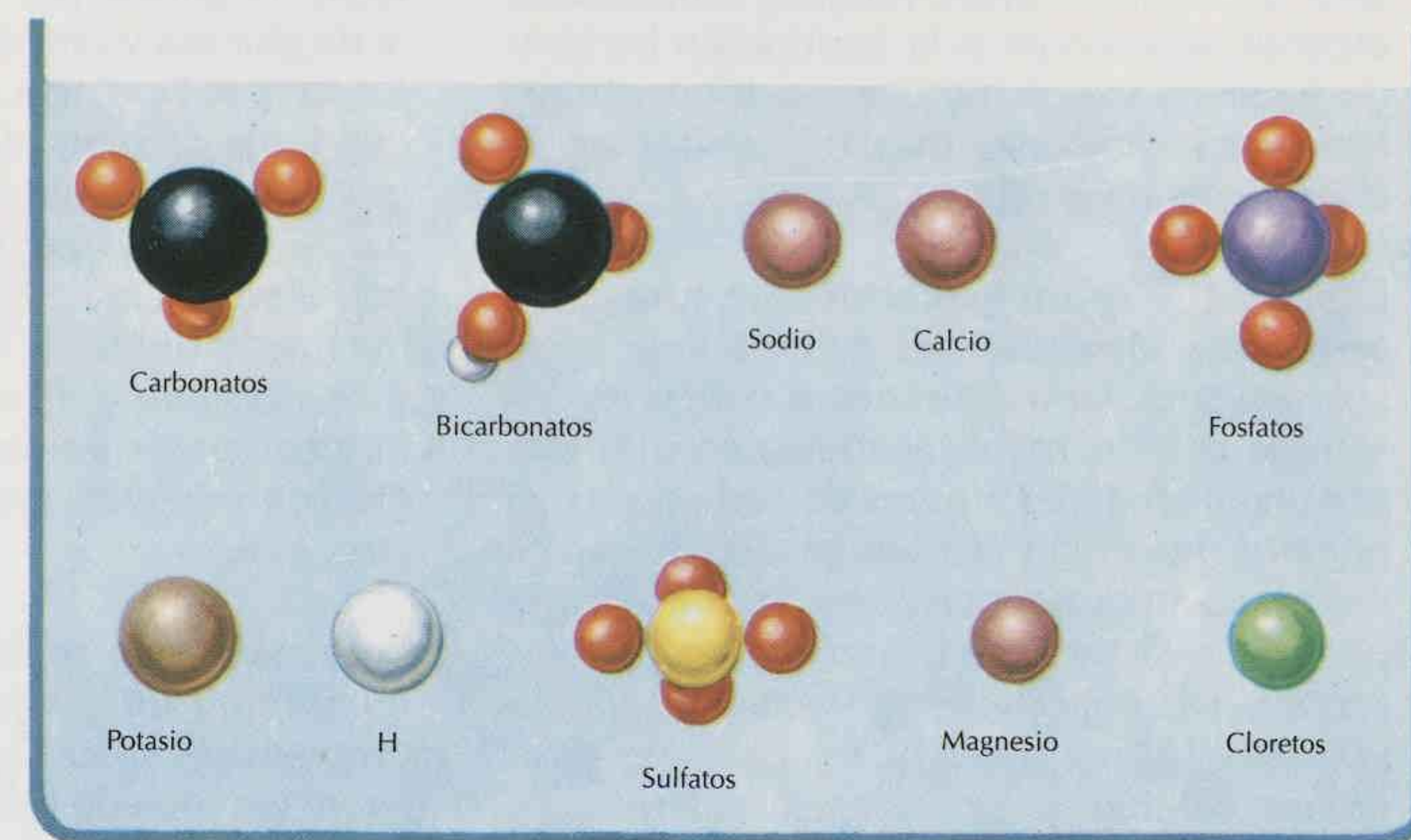
Combinaciones del Carbono.—Cada átomo de Carbono tiene la capacidad de unirse con cuatro átomos de Hidrógeno. El Carbono puede sustituir en un extremo de una cadena carbonosa dos hidrógenos por un oxígeno, dando lugar a una sustancia llamada *aldehído*, mientras que si la sustitución ha tenido lugar en un carbono interior de la cadena, entonces el cuerpo resultante es una *cetona*. Si el hidrógeno se sustituye por un radical —NH₂, el cuerpo es una *amina*. Una cadena carbonosa constituye un ácido orgánico cuando tiene la función carboxilo —COOH, y si sustituye un hidrógeno por un radical —OH, el cuerpo resultante



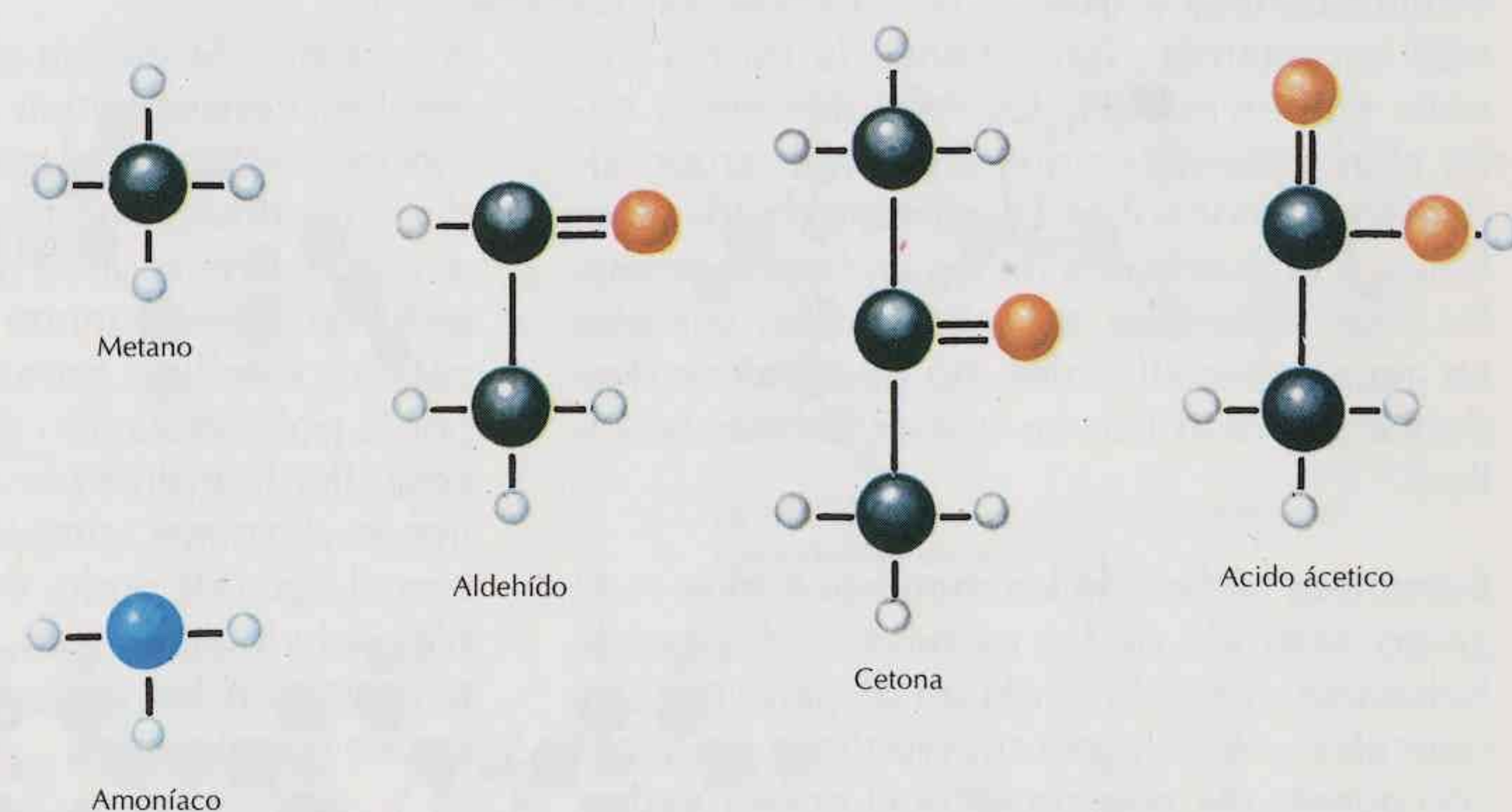
En la materia viva hay gran cantidad de agua.



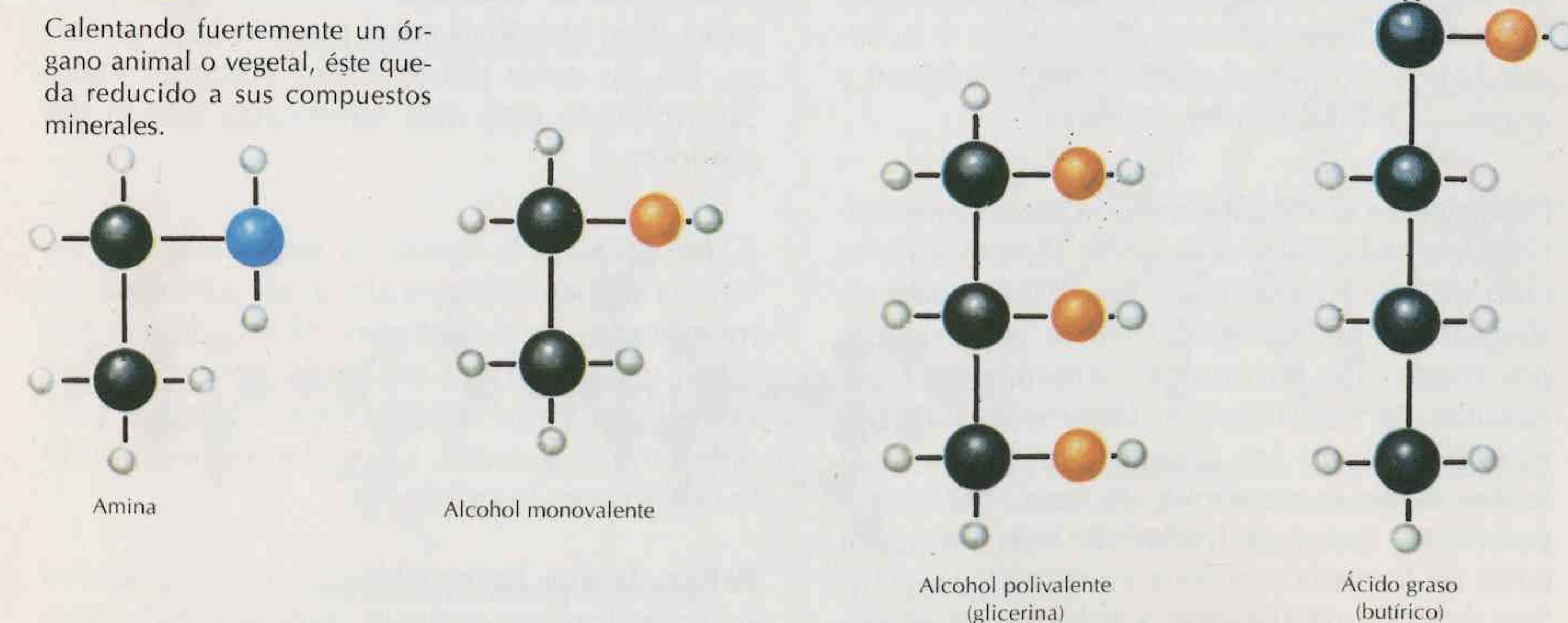
Calentando fuertemente un organismo animal o vegetal, éste queda reducido a sus compuestos minerales.



Principales sales minerales que se encuentran en los organismos.



Algunas combinaciones de Carbono y Nitrógeno.



será un alcohol monovalente, llamándose alcohol polivalente si la sustitución ha tenido lugar en varios hidrógenos. Estas son las funciones químicas más frecuentes en la materia orgánica.

Glúcidos.—Se incluyen en este grupo los azúcares y las sustancias derivadas de ellos. Los azúcares fundamentales o más sencillos son las *osas*, o *monosacáridos*, constituidas por una cadena de átomos de carbono, cuyo número determina el nombre del azúcar. Si hay cinco átomos de carbono, la *osa* se llama *pentosa*, y si tiene seis, *hexosa*. Las hexosas son las más importantes y frecuentes. Desde el punto de vista químico, las osas son aldehídos o cetonas de alcoholes polivalentes. Entre las hexosas está la *glucosa*, o azúcar de uva, y la *fructosa*, presente junto con la anterior en la miel y muchos frutos.

Monosacáridos u osas.— Las hexosas son las más importantes. Todas tienen la misma fórmula empírica, $C_6H_{12}O_6$, y la diferencia entre ellas consiste en que tengan un grupo aldehído o cetona y en la posición de los alcoholes, a ambos lados de los carbonos centrales. Son sustancias de sabor dulce, solubles en agua y cristalizables, no pudiéndose desdoblarse por hidrólisis en sustancias más sencillas.

Estructura cíclica de los monosacáridos.— El grupo aldehído de los monosacáridos puede hidratarse, reemplazando un oxígeno por dos radicales —OH y constituyéndose un ciclo con puente de oxígeno entre el primer carbono y el quinto (anillo hexagonal del pirano), o entre el primer carbono y el cuarto (anillo pentagonal del furano). Hay dos *glucofuranos* y dos *glucopiranosas*, llamadas α y β , según la posición en el espacio del hidrógeno y grupo —OH del primer carbono.

Disacáridos o diholósidos.— Dos monosacáridos pueden reaccionar entre sí, con separación de una molécula de agua, formando un *disacárido*. La reacción inversa se consigue por medio de fermentos, obteniéndose las hexosas de constitución, fenómeno llamado *hidrólisis*. Entre los disacáridos más importantes están la *sacarosa*, *lactosa*, *maltosa* y *celobiosa*, todas derivadas de hexosas y por tanto de fórmula empírica común $C_{12}H_{22}O_{11}$. Son dulces, cristalizables y solubles en agua. *Sacarosa.*— Es el azúcar de caña o de remo-

lacha, originada por la unión de una molécula de glucosa y otra de fructosa.

Lactosa.— Es el azúcar presente en la leche y que le da su sabor dulzaino. Se compone de una molécula de glucosa y otra de galactosa.

La maltosa y la celobiosa.— No se encuentran libres en la naturaleza, sino que son productos de hidrólisis del almidón, la primera, y de la celulosa, la segunda. La *maltosa* está formada por la unión de dos moléculas de α -glucosa mientras que en la *celobiosa* la glucosa es β .

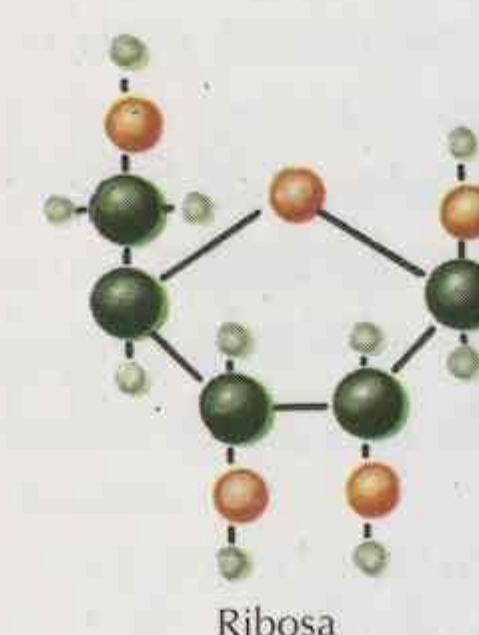
Polisacáridos o poliósidos.— Estos glúcidos componen un conjunto de sustancias con propiedades físicas que, en conjunto, los diferencian bien de los azúcares. Son insípidos, insolubles en agua y no cristalizan. Entre los más importantes están el *almidón*, *glucógeno* y *celulosa*, todos ellos de fórmula general $(C_6H_{10}O_5)_n$.

Almidón.— Sustancia que se forma en los vegetales, consecuencia de la fotosíntesis. En frío es insoluble en agua, y en caliente produce un líquido opalescente, el *engrudo de almidón*. Con el yodo da un color azul característico. Se encuentra como reserva en las patatas, semillas, frutos, etc. Está constituido por la polimerización de moléculas de α -glucosa. Por hidrólisis parcial del almidón se obtienen *dextrinas*, conjunto de sustancias que, con el agua de yodo, dan coloraciones variables del violeta al rojo. El almidón se presenta formando los granos de almidón, tan típicos de los vegetales.

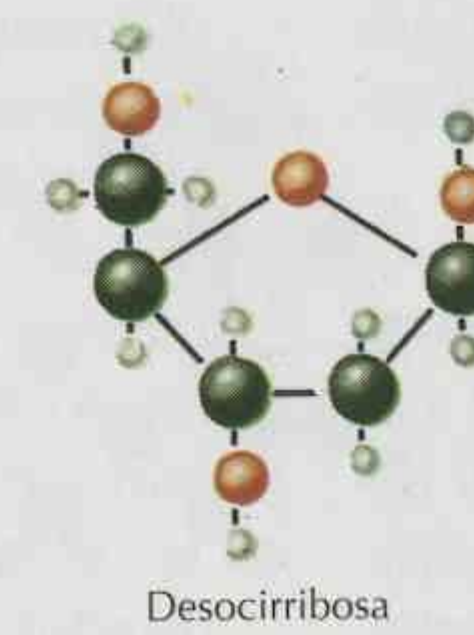
Glucógeno.— Es la sustancia de reserva animal. Se encuentra en el hígado y en los músculos para ser utilizada en el momento necesario. Por hidrólisis total proporciona glucosa. Da un color pardo rojizo como el yodo. Su molécula está más ramificada que la del almidón.

Celulosa.— Es la sustancia esquelética de los vegetales, constituyendo gran parte de las membranas de sus células. El algodón es celulosa casi pura. Su molécula tiene constitución lineal y por hidrólisis da celobiosa y, finalmente, β -glucosa. La unidad estructural de la celulosa es la celobiosa.

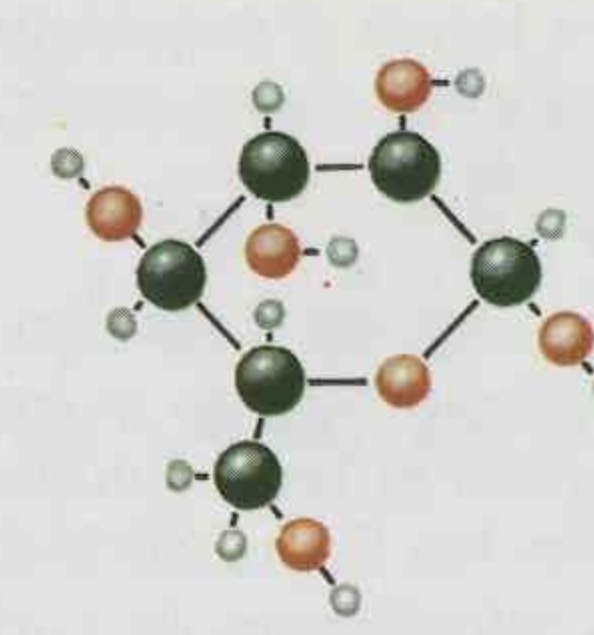
Polisacáridos heterósidos.— Estos glúcidos se caracterizan porque dan por hidrólisis azúcares y otras sustancias no glucídicas.



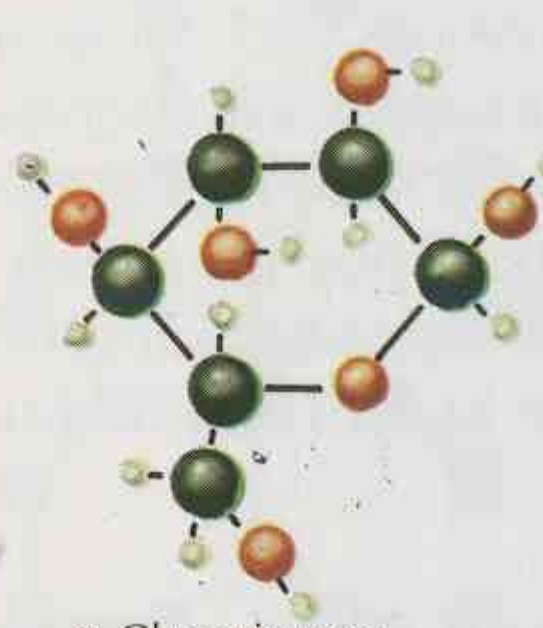
Ribosa



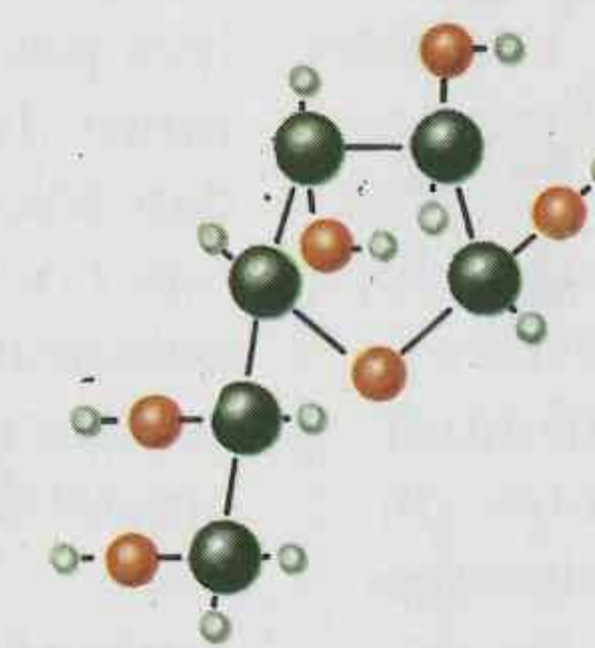
Desocirribosa



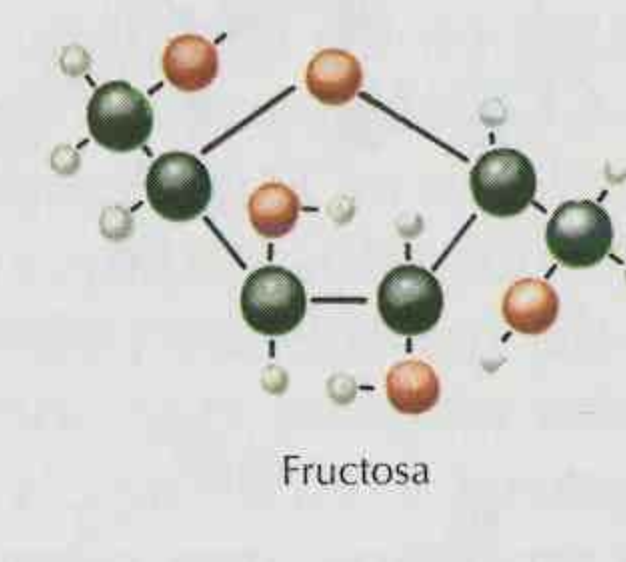
β -Glucopiranososa



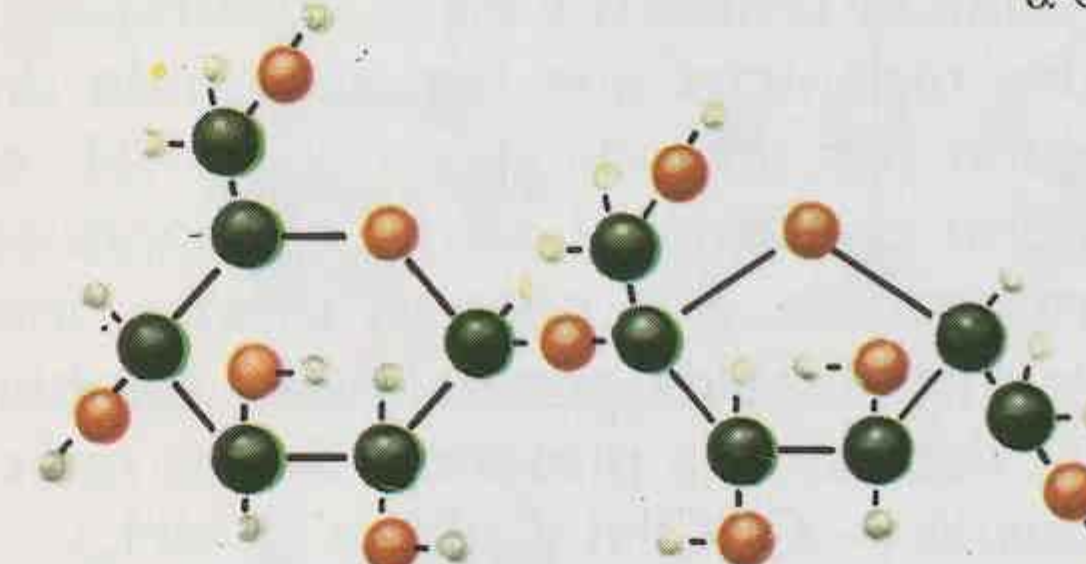
α -Glucopiranososa



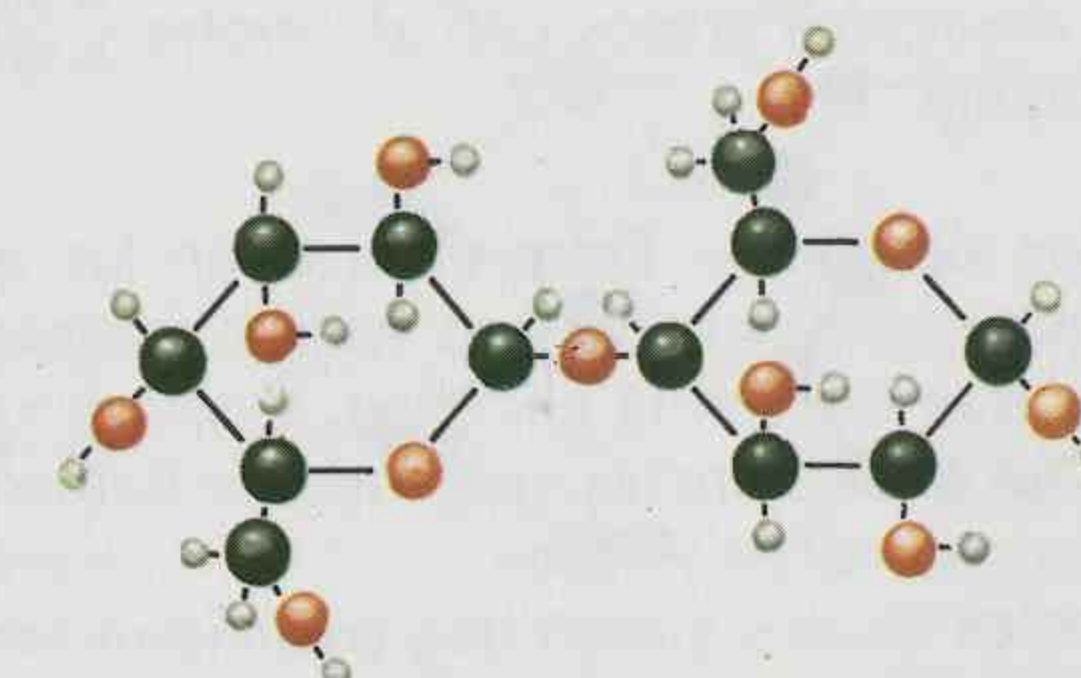
α -Glucofuranosa



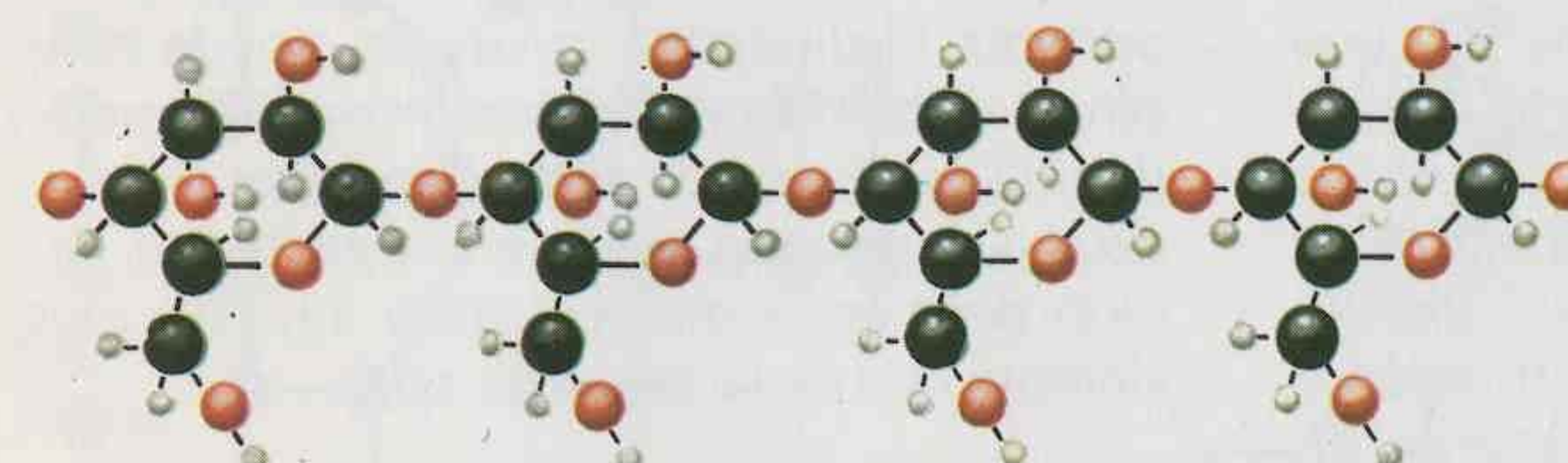
Fructosa



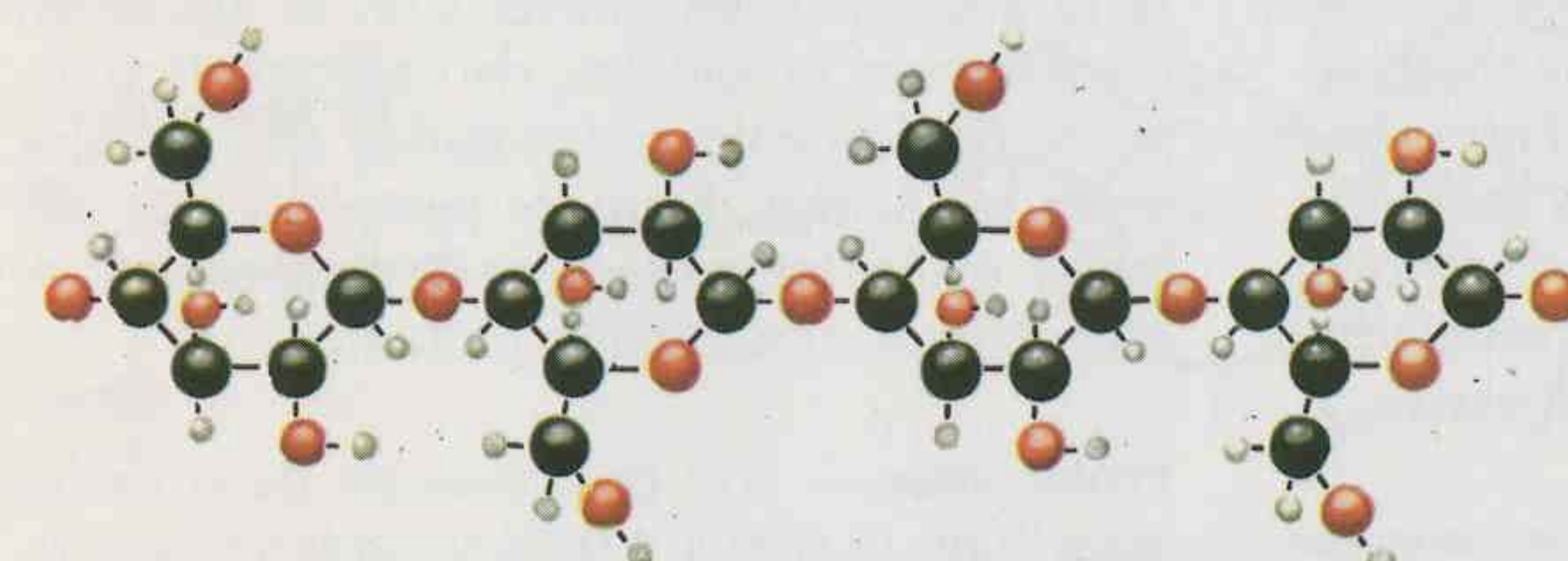
Sacarosa



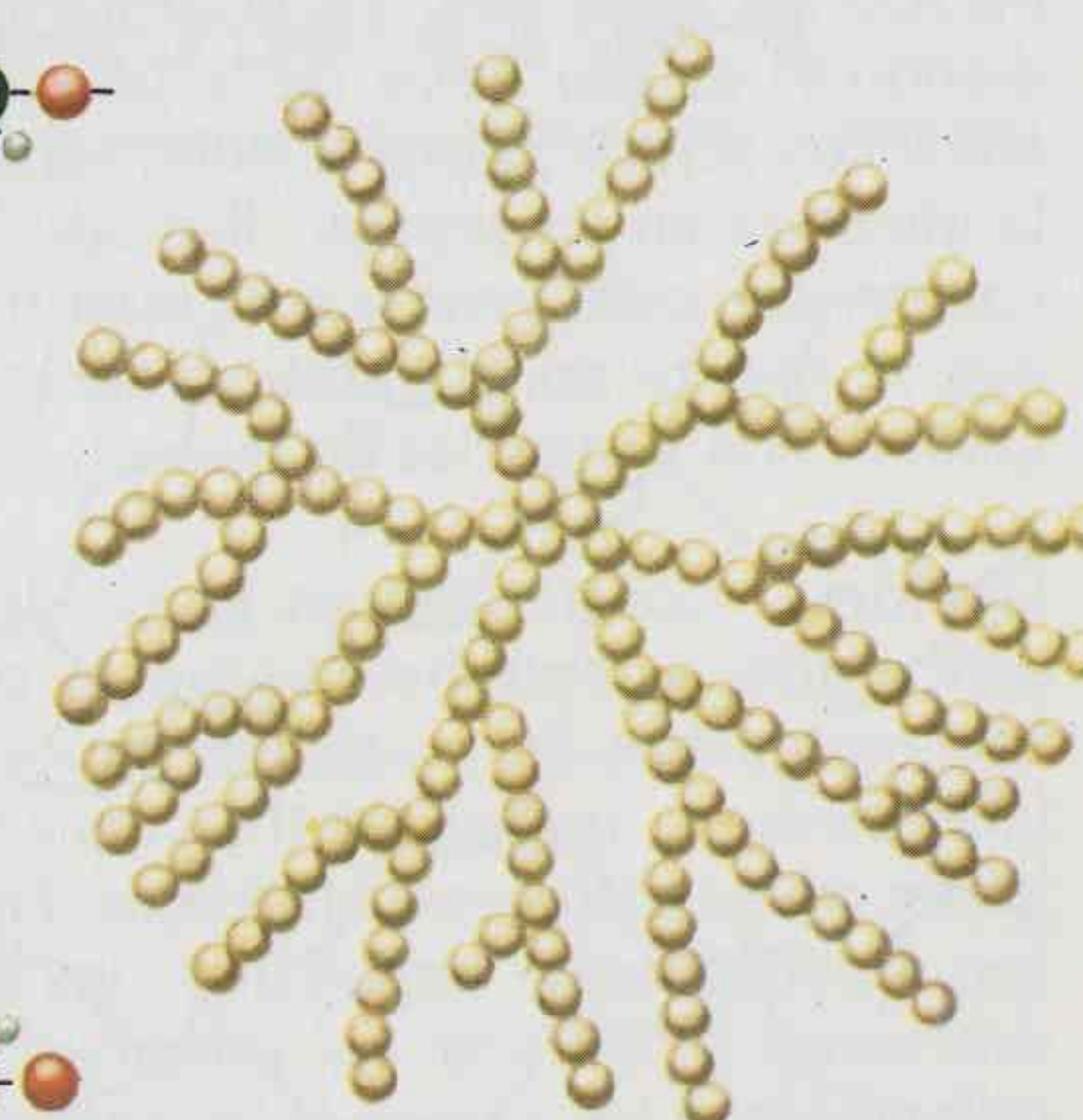
La celobiosa es un disacárido obtenido por hidrólisis de la celulosa.



Estructura molecular del almidón.



Estructura molecular de la celulosa.



La estructura molecular del glucógeno es parecida a la del almidón, pero con cadenas muy ramificadas.

Entre los más interesantes están la *quitina* y la *pectina*, por sus propiedades estructurales; la primera forma el esqueleto de los Artrópodos y la pectina forma parte de las membranas vegetales.

Lípidos.— Se incluyen en este grupo un conjunto de sustancias que tienen como carácter común el ser insolubles en agua y disolverse en los llamados disolventes orgánicos (éter, tetracloruro de carbono, benceno, alcohol, etc.). Es típico en ellas la presencia de *ácidos grasos*, o sea, cadenas de cuatro o más átomos de carbonos con la función ácida —COOH que se combina con sustancias alcohólicas (con grupos OH) dando cuerpos llamados químicamente *ésteres*. Dentro de los lípidos podemos distinguir los *lípidos simples*, que son los ésteres de ácidos grasos y alcoholes, y los *lipoides*, o lípidos complejos, que comprenden los ésteres de ácidos grasos con alcoholes y otras sustancias.

Lípidos simples.— Entre ellos están las *grasas*, que químicamente son ésteres de ácidos grasos que forman la glicerina. Comprenden el grupo de sustancias vulgarmente llamadas aceites, mantecas y sebos.

Según los ácidos grasos que participan en la esterificación, las grasas resultantes son la *oleína*, líquida a la temperatura ambiente, la *palmitina*, blanda, y la *estearina*, sólida. Las grasas naturales están constituidas por una mezcla de estas tres, en gran parte dependiendo el estado físico de la proporción de ellas. Los ácidos grasos pueden separarse de la glicerina en un proceso llamado *saponificación*, reacción inversa a la esterificación y que se realiza en el intestino durante la digestión. Son sustancias de reserva.

Lipoides.—Constituyen un grupo de sustancias químicamente heterogéneas, pero con las propiedades físicas típicas de los lípidos, tales como su insolubilidad en agua y ser solubles en los disolventes lipídicos. Entre ellas son especialmente importantes los *fosfolípidos* como la *lecitina*, las *esterinas* como la *colesterina*, y los *carotinoides*, representados por la *carotina* y *xantofila* de los vegetales.

Prótidos.— En este grupo se reúne un conjunto de sustancias nitrogenadas que son los componentes fundamentales de la materia viviente, de la que forman el 50 % del peso

seco. En ellas hay siempre C, O, H, N, y además, generalmente, S y P, junto a otros elementos. Un representante típico es la albúmina de la clara de huevo.

Hidrolizando los prótidos por medio de ebullición con álcalis se obtienen unas sustancias simples llamadas *aminoácidos*. Según el modo de presentarse, los prótidos se clasifican en:

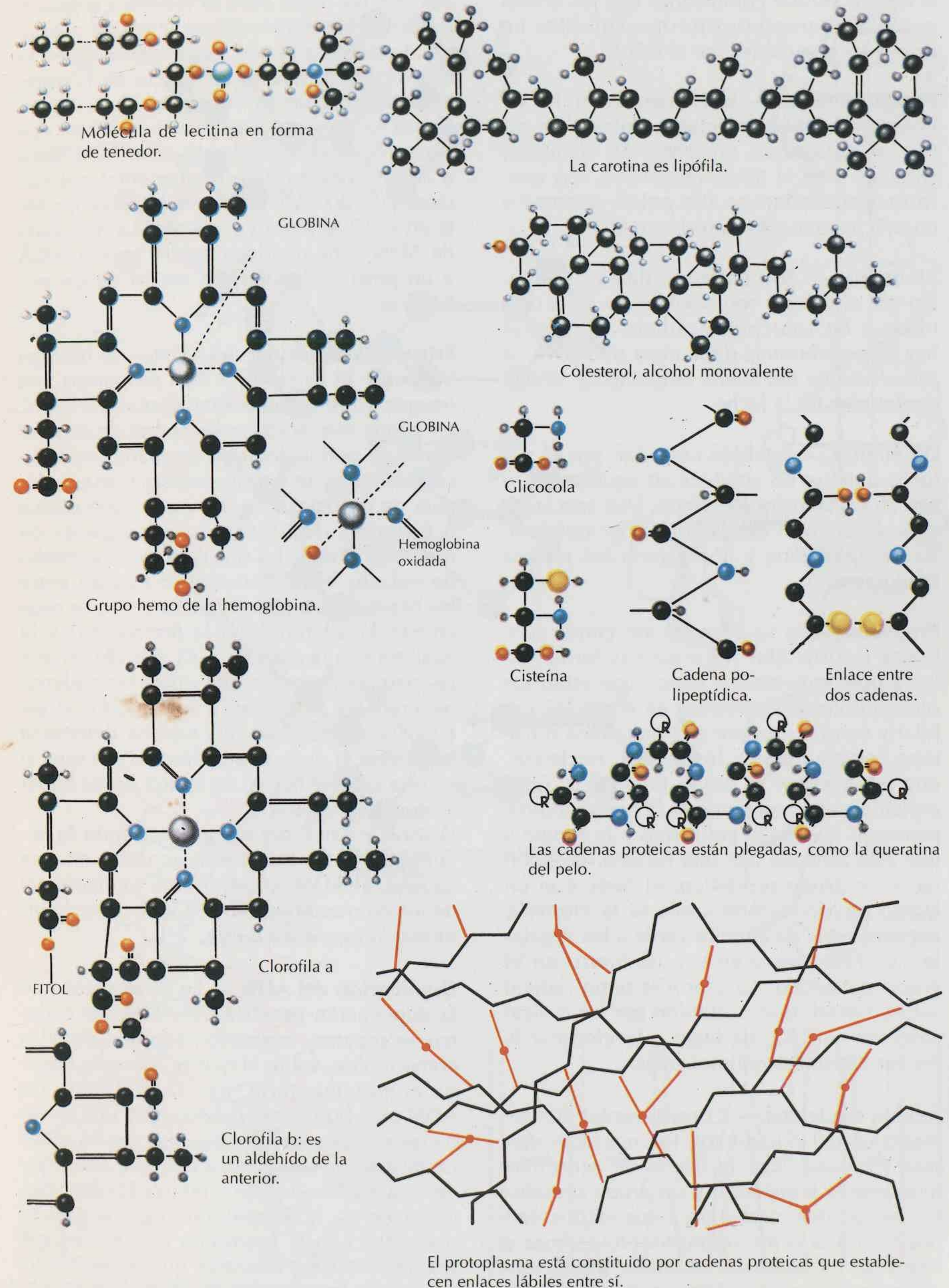
1.º *Aminoácidos*, sustancias sencillas no desdoblables por hidrólisis. 2.º *Péptidos*, sustancias que se forman a partir de la hidrólisis parcial de proteínas. 3.º *Proteínas*, conjunto de sustancias que por hidrólisis total dan sólo aminoácidos. 4.º *Proteidos*, o proteínas conjugadas, que por hidrólisis se descomponen, dando aminoácidos más otras sustancias que no lo son, llamadas grupos prostéticos.

Aminoácidos.— Son las piedras angulares del edificio proteico y están constituidos por ácidos orgánicos que han sustituido un hidrógeno por un radical amino —NH_2 en el carbono contiguo al ácido, formándose un α -aminoácido. Son cuerpos sólidos, incoloros y cristalizables, generalmente solubles en agua, debido a la presencia de los radicales carboxilo (—COOH) y amino (—NH_2).

Péptidos.— Dos moléculas de aminoácidos pueden combinarse entre sí con separación de una molécula de agua, formando un *dipéptido*. El dipéptido, a su vez, puede combinarse con otro aminoácido con separación de otra molécula de agua, dando un *tripéptido*. La cadena es posible alargarla por adición de nuevas moléculas de aminoácidos, siempre con separación de agua.

Proteínas.— La combinación de diferentes polipéptidos da lugar a cuerpos macromoleculares llamados *proteínas*. Su peso molecular es muy elevado, del orden de 38.000 para la albúmina del huevo. Con el agua dan disoluciones coloidales, de característico aspecto opalescente. Se coagulan por el calor y por los ácidos. Entre las proteínas más notables están las *protaminas*, *histonas*, *escleroproteínas*, *albúminas* y *globulinas*.

Protaminas.— Son proteínas de peso molecular bajo (2.000 a 4.000) y carácter básico. Se combinan con los ácidos nucleicos, dando los nucleoproteidos; tan sólo se encuentran en el núcleo celular.



Las histonas.— Tienen mayor peso molecular que las anteriores y también se hallan en el núcleo celular combinadas con los ácidos nucleicos, siendo asimismo solubles en agua e incoagulables por el calor.

Escleroproteínas.— Se encuentran en los tejidos esqueléticos animales. Entre ellas están las *colágenas*, presentes en el hueso, cartílago y en el tejido conjuntivo. Las *queratinas* se hallan en los pelos, plumas y uñas, a los que dan su resistencia.

Albúminas.— Son proteínas típicas. Coagulan por el calor y son solubles en agua destilada y en soluciones salinas. Entre ellas hay la *ovoalbúmina* de la clara de huevo, la *seroalbúmina* del suero sanguíneo y la *lactoalbúmina* de la leche.

Globulinas.— También coagulan por el calor y, aunque no solubles en agua pura, lo son en las soluciones salinas. Van asociadas a las albúminas: *ovoglobulina*, *lactoglobulina*, *seroglobulina* y *fibrinógeno* del plasma sanguíneo.

Proteidos.— En su constitución entran proteínas y sustancias no proteicas formando los *grupos prostéticos*. Entre ellos están los *nucleoproteidos*, presentes en el núcleo celular y constituidos por una protamina o histona combinada con los ácidos nucleicos, que representan el grupo prostético. Otro proteido muy importante es la *hemoglobina*, pigmento que da el color rojo a la sangre y que está formada por una histona, la *globina*, y un grupo prostético, el *hem*, con un átomo de hierro. Afín a ella es la *clorofila*, pigmento que da el color verde a los vegetales, con magnesio en vez de hierro en el grupo prostético. La *clorofila* tiene radical $-\dot{\text{C}}\text{H}$, lateral, que, sustituido por un radical aldehído $-\text{CHO}$, da lugar a la *clorofila b*. Ambas clorofilas van asociadas.

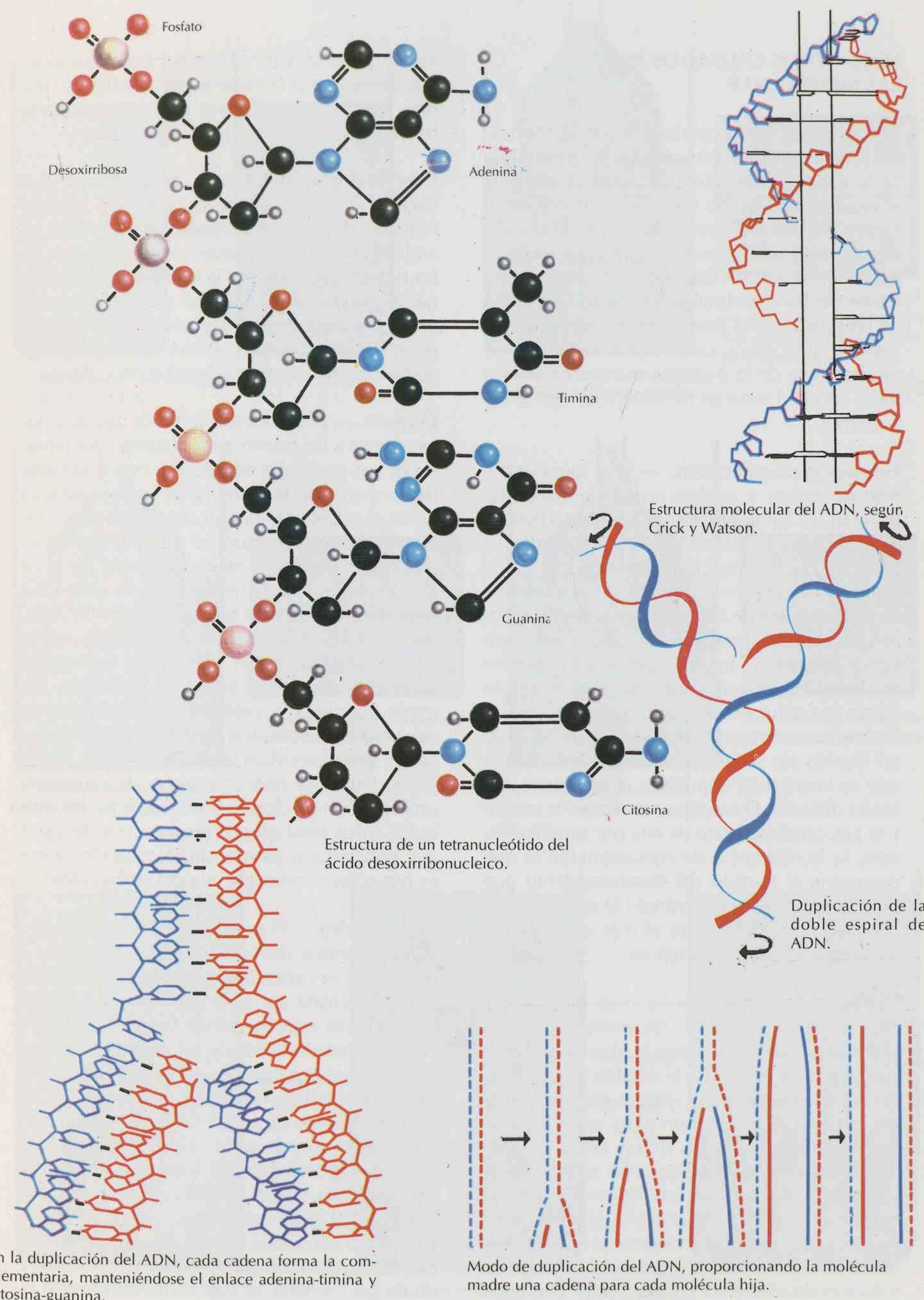
Ácidos nucleicos.— Constituyentes fundamentales del núcleo son los *nucleoproteidos*, formados por la unión de proteínas (protaminas e histonas) y un grupo prostético: los *ácidos nucleicos*. Estos ácidos dan por hidrólisis *ácido ortofosfórico*, *pentosa* y una *base nitrogenada*. La unión, según este mismo orden, proporciona un cuerpo llamado *mononucleótido*; el enlace de varios nucleótidos constituye un *polinucleótido* y és-

tos, a su vez, originan los *ácidos nucleicos*. Las bases nitrogenadas de los ácidos nucleicos son las bases púricas (*adenina* o *guanina*) o las bases pirimídicas (*citosa* o *timina*). La pentosa puede ser la *ribosa* o bien la *desoxirribosa*, que se diferencia de la anterior por tener un átomo menos de oxígeno. Según la presencia de una u otra hay dos clases de ácidos: *ácido desoxirribonucleico* o ADN, constituyente fundamental del núcleo, y *ácido ribonucleico* o ARN, abundante en el citoplasma y nucléolo. La molécula de ADN tiene una longitud de unos 5.000 Å y un peso molecular del orden de un millón.

Estructura molecular del ADN.— El biólogo Watson y el físico Crick han propuesto una imagen de la estructura molecular del ADN, en la que este ácido se compone de dos cadenas de polinucleótidos arrolladas en espiral alrededor de un eje común. Cada molécula de desoxirribosa lleva una base púrica o pirimídica, que son las encargadas de mantener unidas las dos cadenas por medio de enlaces hidrógeno que se forman entre las bases púrica-pirimídica, es decir, se relacionan la adenina con la timina (AT) y la guanina con la citosina (GC). Siendo así que las parejas de bases que unen las cadenas helicoidales se limitan a A-T y C-G, la secuencia de bases en una cadena determina la secuencia de la otra cadena; o sea que, si en una cadena hay A, en la otra ha de haber su complementaria T.

Watson y Crick sugirieron que según la secuencia de las bases nitrogenadas en una cadena, el ADN, constituyente fundamental de los cromosomas, llevaría una clase de información genética u otra.

Duplicación del ADN.— En el momento de la duplicación genética del ADN, las cadenas se separan, actuando cada una de ellas como molde, sobre el que se forma la cadena complementaria; así, la molécula de ADN para duplicarse proporciona una cadena para cada molécula hija, las cuales serán un híbrido de una cadena materna antigua y de otra cadena recién sintetizada. Esta duplicación de la materia cromosómica es la que explicaría la transmisión de los caracteres hereditarios, mientras que el mantenimiento de la secuencia de bases nitrogenadas aseguraría la constancia de los mencionados caracteres.



Propiedades físicas del protoplasma

FENÓMENOS CAUSADOS POR LAS MEMBRANAS

El comportamiento celular no queda explicado suficientemente teniendo tan sólo en cuenta la composición química del protoplasma, sino que también se han de tener presentes ciertos aspectos físicos, como son el tamaño de las moléculas y las relaciones que pueden establecerse entre ellas, así como las propiedades de las membranas celulares. El estudio de las propiedades físicas del protoplasma, objeto de la *Biofísica*, constituye una rama muy prometedora de la Biología, que arroja nuevas luces sobre el trasiego de sustancias por el organismo.

Formación de soluciones. — Si se toma un terrón de azúcar y se deja caer en el fondo de un vaso de agua, al cabo de un cierto tiempo toda el agua se habrá vuelto azucarada. La clara de huevo, mezclada también con agua, da agua albuminosa, límpida y transparente. En ambos casos se obtiene un líquido que, observado al microscopio, se muestra homogéneo y atraviesa el papel de filtro junto con las partículas de azúcar y albúmina: este líquido forma una *solución*.

El desplazamiento de partículas en el seno de un líquido sin ningún obstáculo o membrana que se interponga constituye el fenómeno llamado *difusión*. El oxígeno penetra en la sangre y el gas carbónico sale de ella por simple difusión. Es la diferencia de concentración la que determina el sentido del desplazamiento que va del medio más concentrado al menos. El fenómeno de la difusión es el más sencillo que se da en los medios biológicos.

Diálisis. — Colóquense soluciones de azúcar y de albúmina en sendos recipientes con dos aberturas opuestas y tápese la abertura inferior con una hoja de papel de celofán no barnizado. Introduciendo el recipiente con agua azucarada en una vasija con agua pura, ésta se hace azucarada al cabo de un cierto tiempo, lo que indica que la sacarosa ha atravesado la membrana de celofán. Este fenómeno en virtud del cual el azúcar atraviesa la membrana se llama *diálisis* y las membranas que lo permiten son *permeables*. Metiendo también la solución de albúmina en una vasija con agua pura se observa que la membrana *no deja pa-*

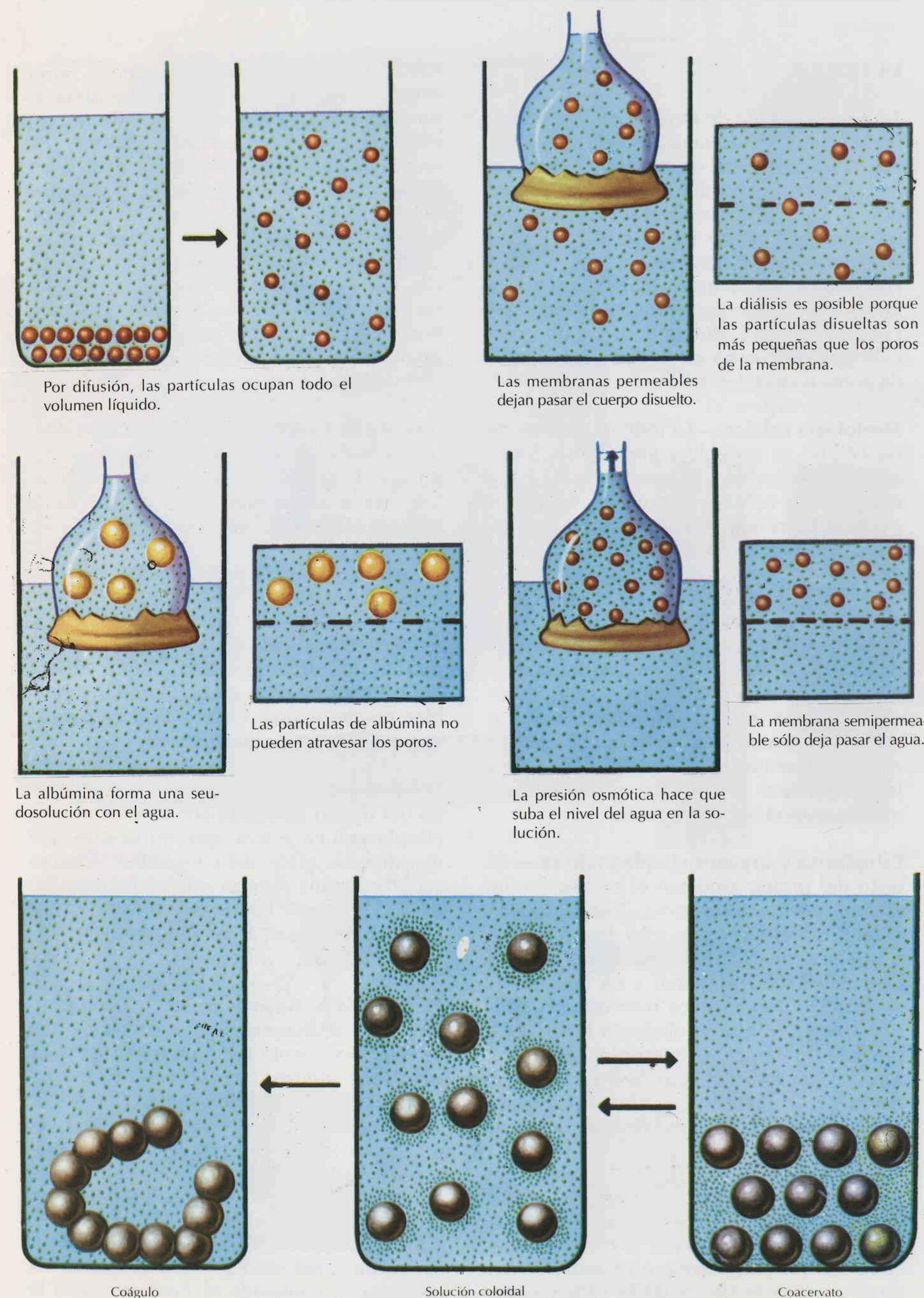
sar las partículas de albúmina. Las soluciones que presentan el fenómeno de la diálisis se llaman *verdaderas*, mientras que las que no lo muestran se denominan *seudosoluciones*.

Cristaloides y coloides. — Las sustancias que dan soluciones verdaderas, como el azúcar, forman cristales por evaporación del agua; de aquí el nombre de *cristaloides* con el que se las designa; en cambio, la solución de albúmina, al evaporarse el agua, se convierte en una masa pegajosa de aspecto parecido a la cola; de aquí el nombre de *coloides* que tienen estas sustancias, llamándose a la solución *coloidal*.

Ósmosis. — El comportamiento de las soluciones frente a las membranas depende del tamaño de sus partículas en relación con el tamaño de los poros de la membrana. En los casos ya vistos al explicar la diálisis, la membrana tiene poros de una magnitud tal que consienten el paso a las partículas de azúcar, pero no a las de albúmina. En una membrana de poros tan finos que no permitan pasar el cuerpo disuelto, pero sí a las moléculas de agua, como ocurre con la vejiga de cerdo, sólo habrá trasiego de agua a través de ella; éste es el fenómeno llamado *ósmosis* y la membrana que lo presenta es *semipermeable*. Los fenómenos osmóticos tienen gran importancia en los líquidos biológicos. Introduciendo unas gotas de sangre en una solución de cloruro sódico al 5 %, los glóbulos rojos estallan por penetración de agua por *endósmosis*, ya que dicha solución salina es *hipotónica* con el plasma del glóbulo rojo.

Soles y geles. — El estado coloidal puede presentar aspectos distintos. Si se diluye gelatina en agua y se calienta se obtiene una solución líquida llamada *sol*. Si se deja enfriar, la masa adquiere un aspecto sólido llamado *gel*, que vuelve al estado fluido de sol por calentamiento; sol y gel son dos estados reversibles de la solución coloidal. Hay casos en que el gel no vuelve al estado de sol; se llama entonces *coágulo*, como sucede con la clara de huevo hervida que se transforma en gel irreversible. El gel reversible con el estado de sol se designa con el nombre de *coacervato*.

El protoplasma está constituido por grandes moléculas de materiales proteicos bajo el estado de gel coloidal, el cual es reversible con el estado de sol.



Morfología y estructura de la célula

LA CÉLULA

Tómese una hoja de musgo o bien un fragmento de muda de rana y obsérvese al microscopio. Se verá en seguida que están compuestos por celdillas poligonales o redondeadas que constituyen un mosaico. Estas unidades forman los seres vivos y reciben el nombre de *células*.

Fue Robert Hooke quien introdujo este término en su *Micrographia*, publicada en Londres en 1665, donde describe una sección fina de corcho en la que ve una serie de poros o celdillas (células).

Morfología celular.— La forma y tamaño de las células es variable según las funciones que han de realizar. El tamaño oscila entre 8μ , para las células sanguíneas, hasta 1m para ciertas células nerviosas, aunque el tamaño corriente es de unas 50μ , pudiéndose decir de un modo general que las células vegetales son mayores que las animales.

Núcleo.— El contenido celular recibe el nombre de protoplasma. En esta masa protoplasmática hay una esfera central o núcleo en cuyo interior se distingue uno o varios corpúsculos llamados *nucleolos*. En ciertos momentos de la vida celular, el contenido nuclear se resuelve en cortos filamentos llamados *cromosomas*.

Citoplasma y órganos citoplasmáticos.— El resto del protoplasma sin el núcleo recibe el nombre de *citoplasma*. Tiene aspecto hialino, y en él se reconocen diversos órganos, entre los cuales destaca cerca del núcleo, en la célula animal y en las células vegetales de organismos inferiores, el *centrosoma*, en el que se observan tres partes: un gránulo central o *centríolo*, una masa esférica hialina o *centrosfera* y unos filamentos radiales que constituyen el *áster*, originados en el momento de la división celular.

Condrioma y plastos.— Otros orgánulos importantes son los *condriosomas*, diseminados en gran número por el citoplasma, y cuyo conjunto constituye el *condrioma*. Órganos característicos de la célula vegetal, con excepción de las bacterias y ciano-

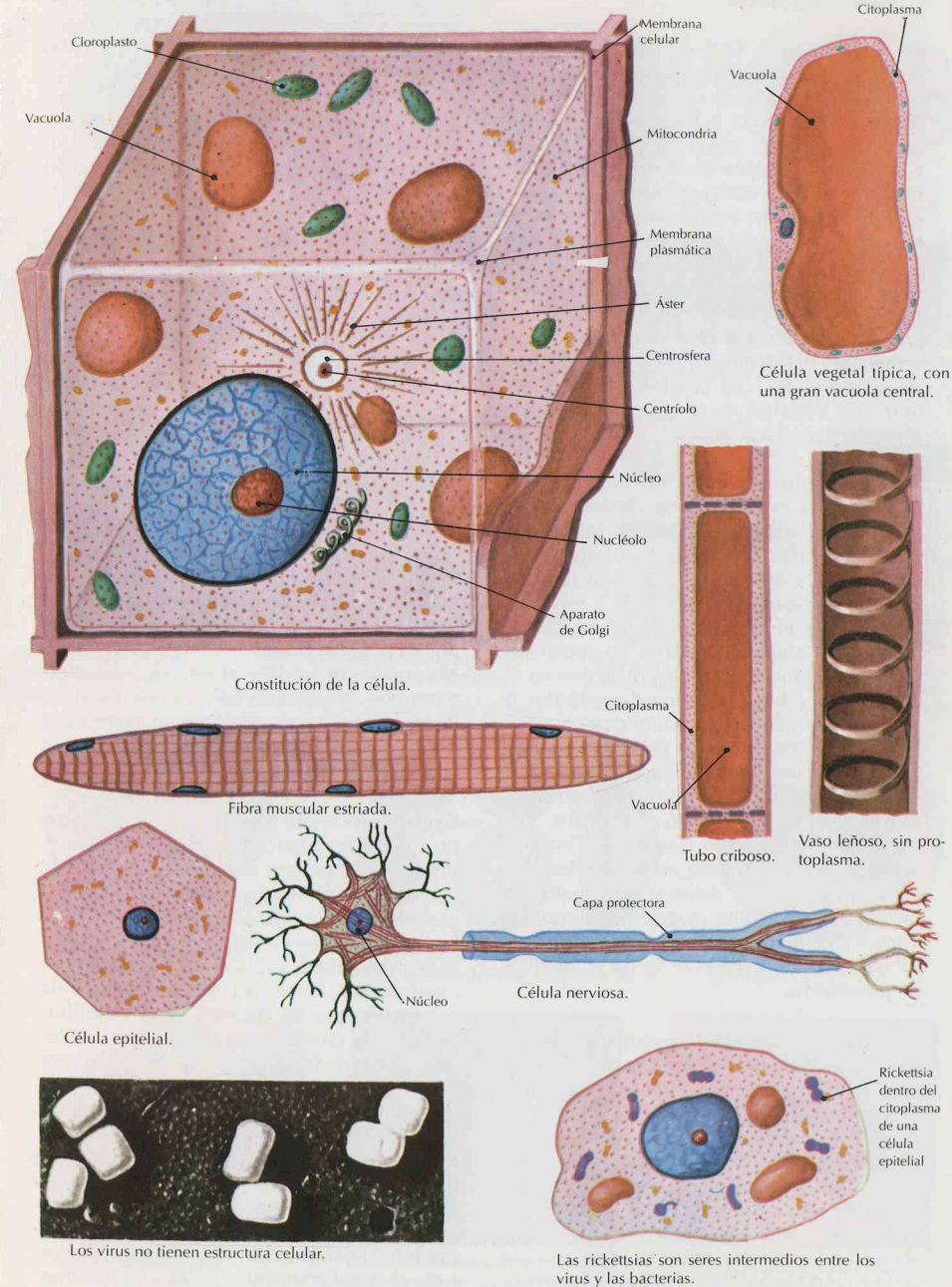
fíceas, son los *plastos*, que pueden tener varias funciones. Hay *plastos* que almacenan almidón y se llaman *amiloplastos*, mientras que otros, los *cromoplastos*, tienen pigmentos, reconociéndose entre ellos los *cloroplastos*, de color verde por poseer clorofila. Los *cloroplastos* suelen tener, además de la clorofila, un pigmento anaranjado o *carotina*, y otro amarillo o *xantofila*, que es el que da el color amarillento a las hojas de los árboles en otoño. Muchas flores y frutos como el girasol, el tomate, el pimiento, etcétera, deben sus colores a los *cromoplastos*.

Aparato de Golgi.— Es un órgano bien diferenciado en la célula animal, situado en las proximidades del núcleo, de figura variable, desde tomar una forma espiral hasta adoptar el aspecto de casquete.

Citoplasma fundamental.— Está constituido por la masa citoplasmática que incluye a los órganos anteriormente descritos. Ofrece diferenciaciones diversas, como la formación de *miofibrillas* en la célula muscular, de *neurofibrillas* en la neurona, y también puede originar *cilios* y *flagelos* para la locomoción de la célula.

Membranas.— El protoplasma está separado del medio ambiente por una membrana citoplasmática activa, que no es más que una diferenciación del citoplasma. A veces esta membrana segrega una membrana celular, de función inerte, esquelética, y que en los vegetales está compuesta típicamente de celulosa.

Paraplasma.— Además de los órganos celulares que acabamos de considerar se han de tener en cuenta en el protoplasma unas sustancias inertes, formadas por el propio protoplasma durante su actividad, y que se acumulan en cavidades llamadas *vacuolas* o bien en los *condriosomas* y *plastos*; tienen forma de cristales y granos de secreción, constituyendo el *paraplasma*. En los vegetales, el contenido vacuolar es una *disolución acuosa*, como en el caso de la sacarosa de la remolacha, mientras que en los animales su contenido es *lipídico*, como la grasa del tejido adiposo.



ESTRUCTURA DE LOS ÓRGANOS CITOPASMÁTICOS

El condrioma.— Con el microscopio de contraste de fase aparece el condrioma bajo la conformación de corpúsculos denominados *mitocondrias*, o bien, de forma alargada, llamándose entonces *condriocontes*. Con el microscopio electrónico las mitocondrias se ven como esferas o elipsoides limitados por una membrana doble, cuya capa interna parece presentar tabiques que dividen el interior en una serie de compartimientos. Esta estructura es típica de los elementos del condrioma. El condrioma es un aparato secretor, que elabora gotas de grasa y tiene un papel muy importante en la respiración celular. Los condriosomas se forman por división de otros condriosomas precedentes.

Plastos.— Son de interés los *leucoplastos*, que actúan a menudo como almacén de almidón (*amiloplastos*), de aceite (*elaioplastos*), o de proteínas (*aleuroplastos*). Los cromoplastos más importantes son los *cloroplastos*, que elaboran clorofila y están relacionados con la fotosíntesis. En las cianofíceas y en algunas bacterias aparecen los pigmentos fotosintetizadores dispersos en el citoplasma y bajo la forma de gránulos o vacuolas, llamándose *cromatóforos*.

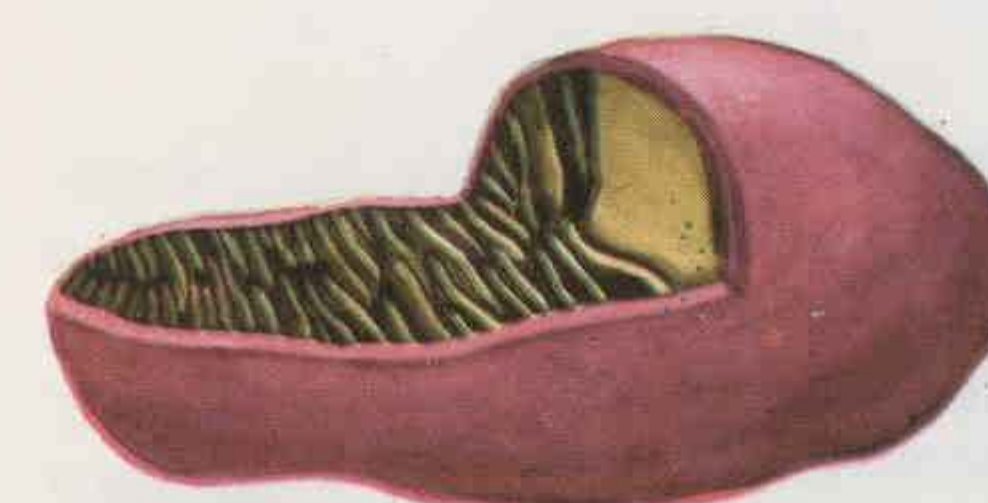
El cloroplasto típico es un cuerpo ovoide limitado por una doble membrana que encierra una matriz homogénea denominada *estroma*, en la que hay unos *gránulos*. Vistos con el microscopio electrónico, los gránulos se ven poseyendo estructura laminar y están conectados entre sí por medio de membranas de doble pared. Los plastos se forman por división de otros preexistentes. Al conjunto de plastos se le da el nombre de *plastidoma*.

Aparato de Golgi.— Está constituido por un sistema de conductos en forma de red compleja e irregular que rodea al núcleo, o bien por *elementos separados* a modo de escamas o bastones llamados *dictiosomas*. El aparato de Golgi, de aspecto reticular, es típico de la célula animal, mientras que la forma difusa se presenta en la célula vegetal, aunque también se muestran los dictiosomas en las células animales. Este aparato se tiñe selectivamente con el *ácido ósmico*. El microscopio electrónico pone en eviden-

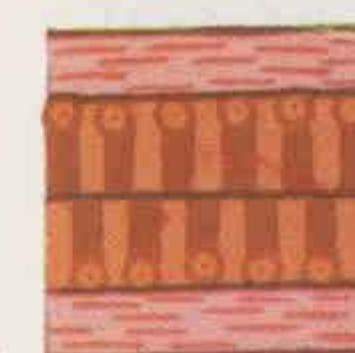
cia que el aparato de Golgi está constituido por un sistema de vesículas de tamaños diversos y por un conjunto de membranas dispuestas en series paralelas. Las vesículas parecen formarse por hinchazón de las láminas al aumentar el contenido entre ellas, originándose continuamente y desapareciendo en el citoplasma. El aparato de Golgi es, pues, un órgano de intensa actividad secretora.

Retículo endoplásmico y ribosomas.— En casi todas las células el citoplasma está recorrido por un sistema de membranas dispuestas en las tres dimensiones del espacio, y que limitan unos tubos o vesículas. Este sistema en forma de red recibe el nombre de *retículo endoplásmico*. Dichas membranas tienen en su cara externa unos gránulos, descritos por Palade en 1955 y llamados ribosomas, de un tamaño de 100Å. El nombre de ribosomas alude a su alto contenido en ácido ribonucleico (ARN), y son elaboradores de proteínas. Los ribosomas pueden estar también dispersos en el citoplasma. Probablemente el nucléolo interviene en la formación del retículo endoplásmico. Los ribosomas están constituidos por ARN y proteínas. No puede confundirse el retículo endoplásmico con los dictiosomas, ya que éstos no llevan gránulos asociados a su membrana (ribosomas), y además son específicos para la reducción del tetróxido de osmio.

Centrosoma.— Se ha visto que el centríolo de los espermatozoides ciliados vegetales puede transformarse en gránulos basales de los cilios, mostrándose, entonces, como órgano locomotor. Por esto, el hecho de que las Fanerógamas carezcan de cilios en sus espermatozoides explicaría la ausencia de centrosomas. El microscopio electrónico da a conocer que los flagelos están constituidos por un cilindro que tiene en su periferia 9 pares de fibras longitudinales y un par de fibras en el centro, mientras que en la base del flagelo este cilindro carece de fibras centrales, siendo la estructura del centríolo la misma que la de la base del flagelo. El centrosoma se presenta, pues, como *inductor* de la formación de cilios y flagelos para la locomoción, aparte de incitar también la formación del aparato fibrilar para el desplazamiento de los cromosomas en la mitosis.



Corte de una mitocondria para mostrar los tabiques internos.



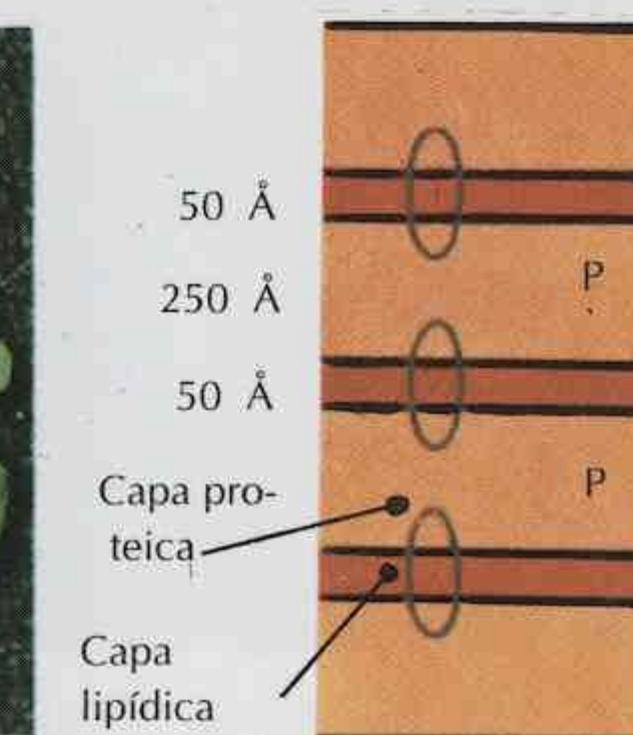
A la derecha se representan unos tabiques, algunos perforados e incompletos. A la izquierda, estructura molecular de los tabiques de la mitocondria.



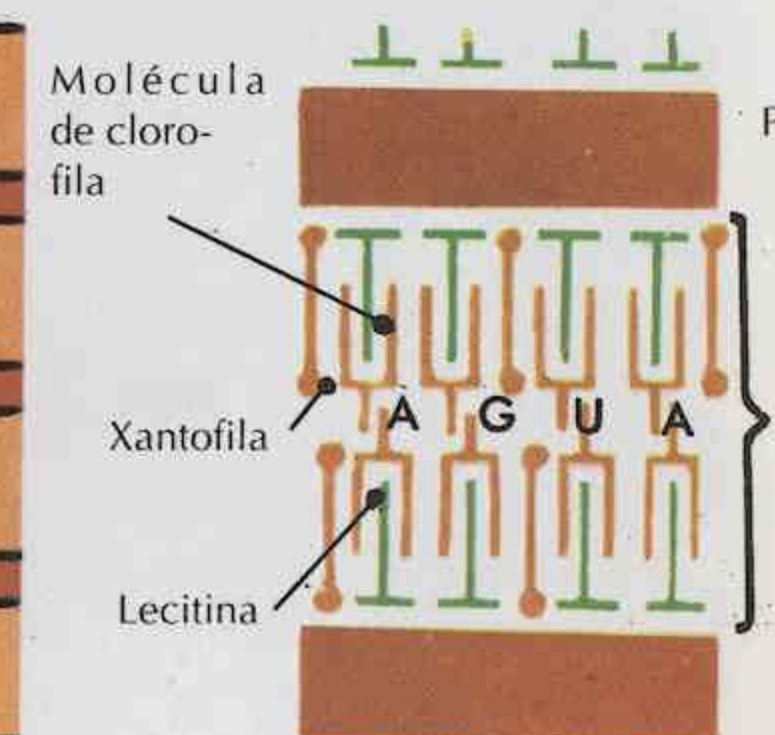
Cloroplasto visto de perfil, mostrando los gránulos estratificados.



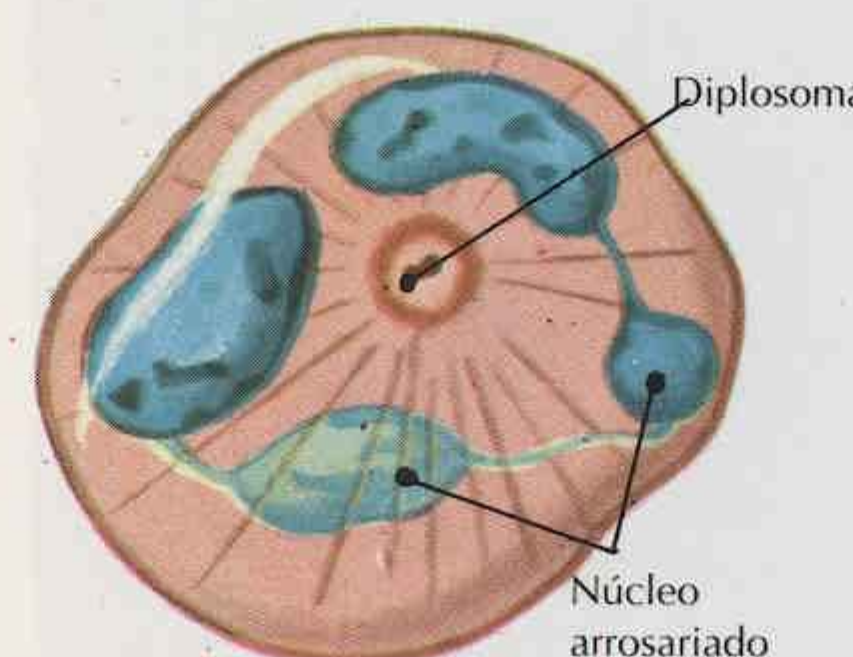
Gránulos de cloroplastos de espinaca vistos con el microscopio electrónico.



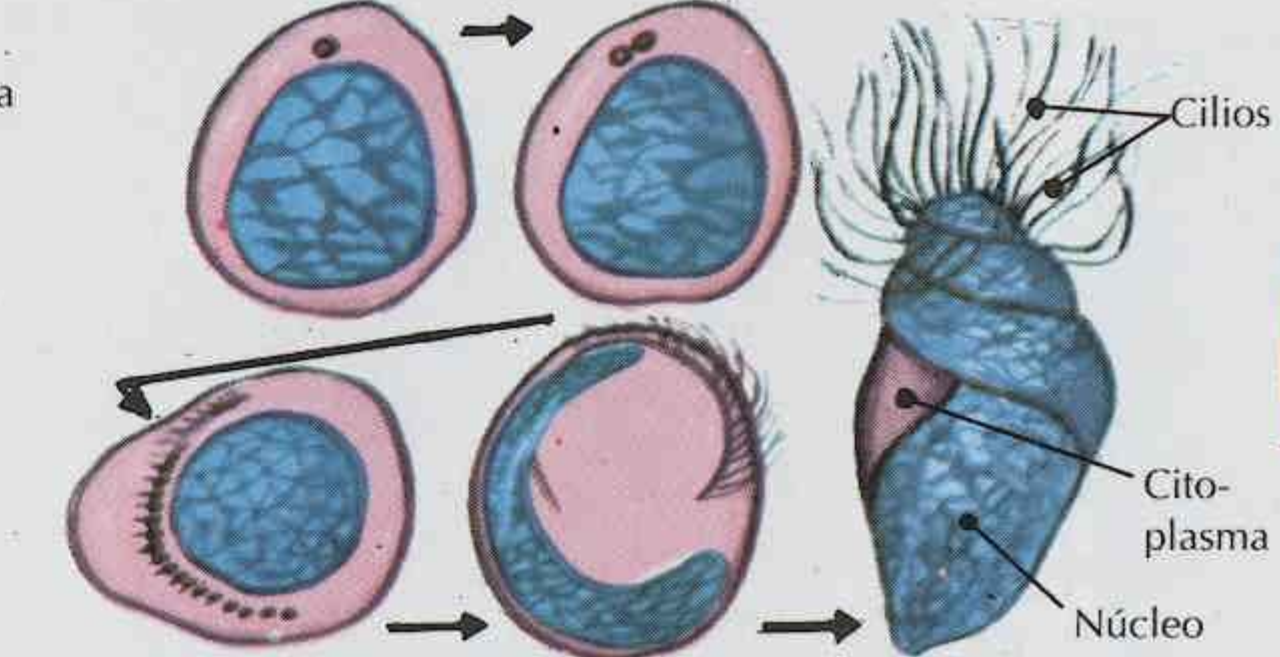
Disposición de las capas lipídicas y proteicas en los gránulos.



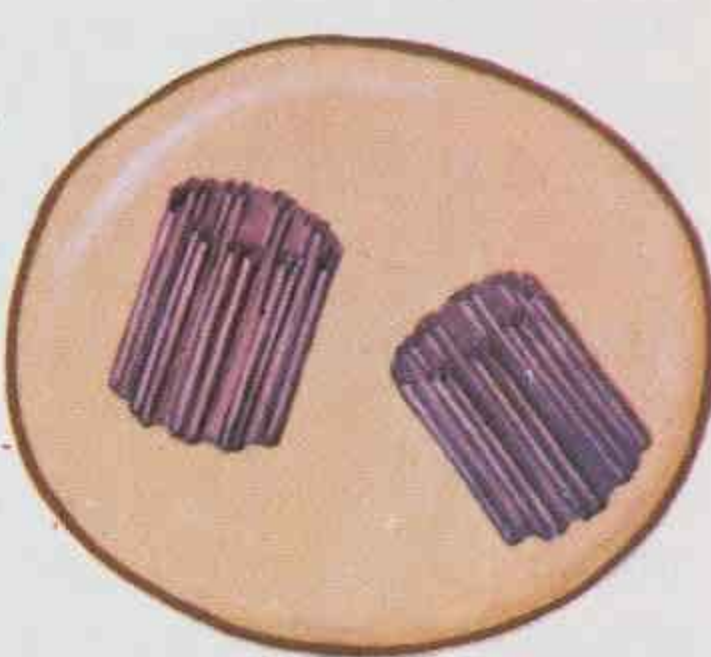
Estructura submicroscópica de una capa lipídica de un gránulo.



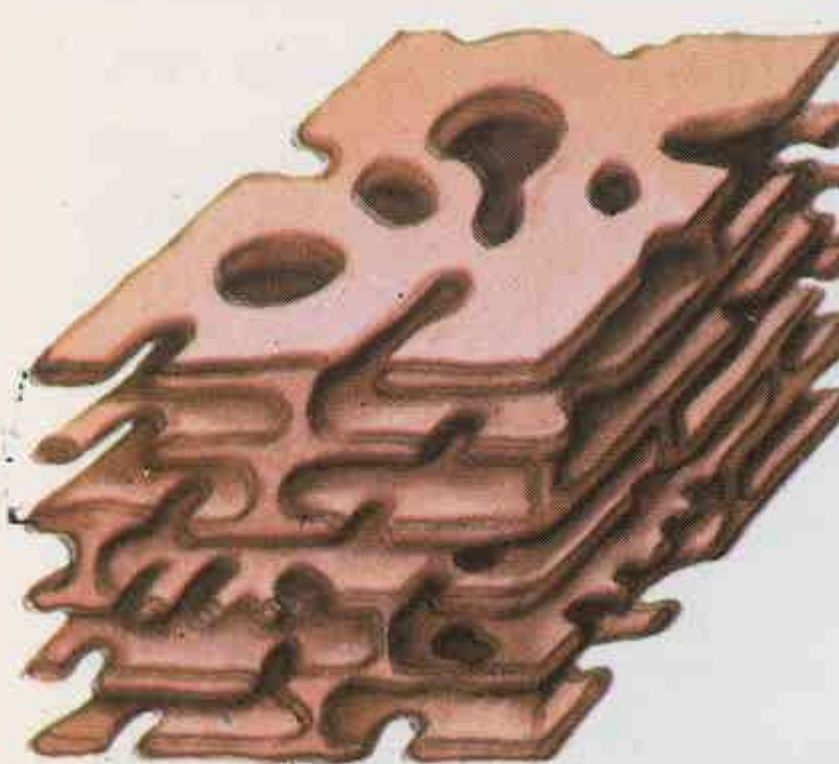
Centrosoma de leucocito de salamandra.



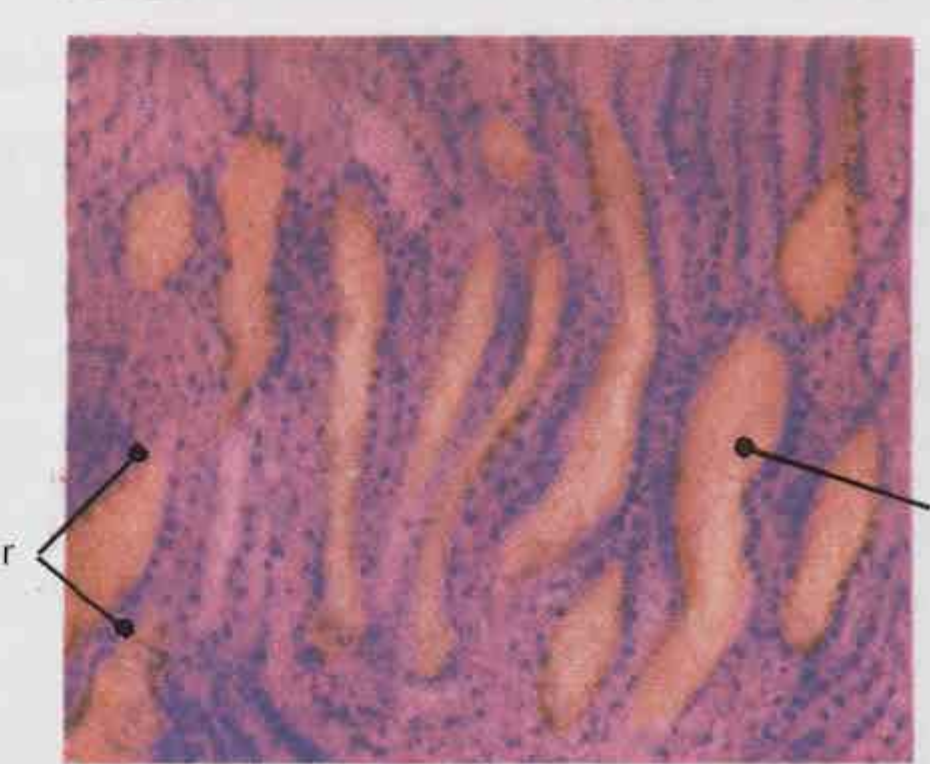
Formación de gránulos basales de cilios en el espermatozoide de *Equisetum arvense*.



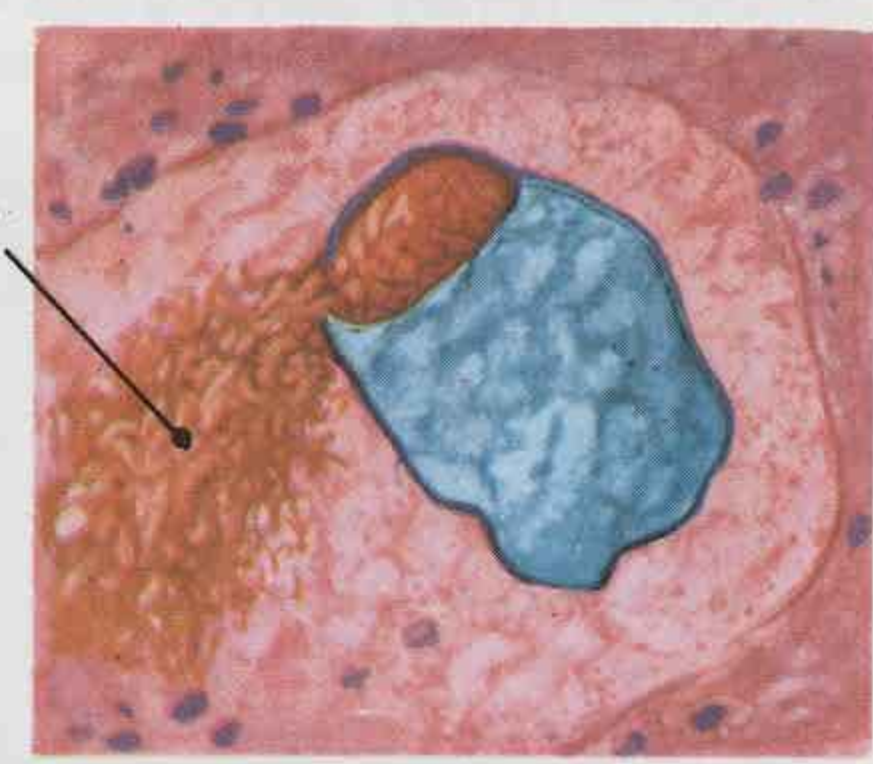
Centrosoma con dos centríolos.



Retículo endoplásmico.



Ribosomas (r) sobre el retículo endoplásmico (e), en sección.



El nucleolo originaría el retículo endoplásmico (r).

CROMOSOMAS Y MEMBRANAS

Estructura de un cromosoma.— Si examinamos un núcleo celular teñido debidamente, veremos unos filamentos llamados cromosomas en su interior. Si se tiñe un cromosoma, se observa que está constituido por una masa o *matriz* en cuyo centro hay un filamento muy coloreable llamado *cromonema*, que puede contener unos gránulos denominados *cromómeros*. El cromonema suele estar arrollado en espiral, siendo los cromómeros zonas del cromonema en que el arrollamiento es mayor. Es en la interfase, o fase de núcleo en reposo, cuando la desespiralización es total; de aquí lo difícil de observar los cromosomas como unidades independientes en un núcleo en reposo. En los espermatozoides del caracol (*Helix*), se presentan los cromosomas *desenrollados* y *sin cromómeros*. El cromonema puede ser doble, encontrándose entonces los dos filamentos unidos entre sí por el centrómero. Los cromosomas se hallan recorridos en toda su longitud por unas franjas transversales que delimitan zonas de topografía determinada y perfectamente reconocibles. En los cromosomas gigantes de la *Drosophila*, la mosca del vinagre, estas bandas están bien estudiadas, existiendo incluso mapas cromosómicos. Los cromosomas de los Dípteros pueden alcanzar 0,2 mm de longitud, y están formados por la unión de cromosomas simples en número de 2.000 a 4.000.

Cromosomas humanos.— La forma y el número de los cromosomas son constantes en cada especie. El hombre tiene 46 cromosomas, en los que también puede perfectamente observarse la espiralización ya conocida en otros cromosomas, tanto vegetales como animales. Cada cromosoma humano contiene por término medio una cadena de ADN, de 2 cm de longitud, formando, probablemente, una macromolécula que lleva la información genética a todo lo largo de ella.

Los genes.— Siguiendo la longitud de los cromosomas se han ido detectando *bandas*, a cuyo cargo corre la manifestación de los caracteres biológicos. Así por ejemplo, el color de los ojos de la *Drosophila* depende de una banda determinada. A este factor se le conoce con el nombre de *gen*. Desde el punto de vista químico, los genes están constituidos por ácido desoxirribonucleico,

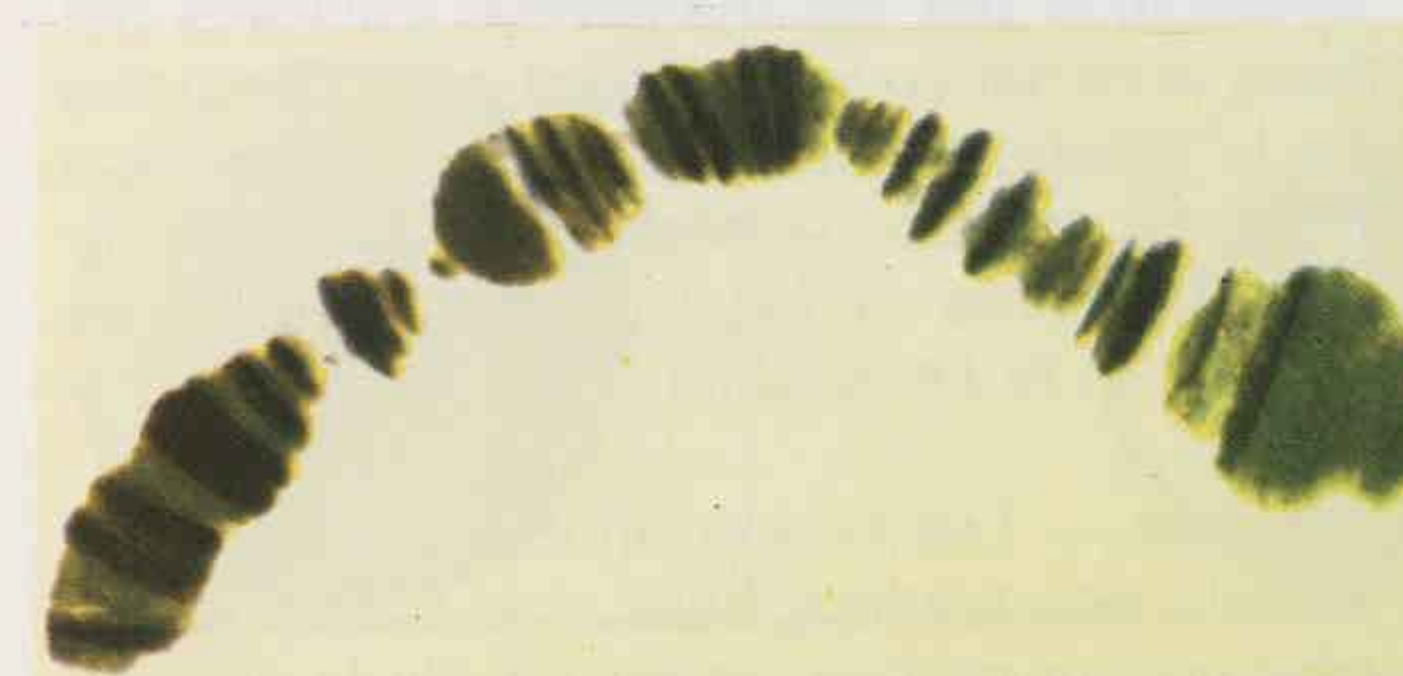
ADN, y son los portadores de los caracteres hereditarios.

«Puffs» y genes.— A lo largo de los cromosomas gigantes y al nivel de las bandas, hay unos *abultamientos* designados como «puffs» por los autores de lengua inglesa, y que se ha demostrado representan lugares de síntesis de ARN (ácido ribonucleico). El mayor o menor desarrollo de estos abultamientos determina la mayor o menor actividad sintetizadora de los genes localizados en ellos, por lo que representan un material óptimo para el estudio de la acción genética.

El núcleo de las bacterias.— A partir del año 1946, en que J. Lederberg y E. L. Tatum comprobaron el apareamiento y recombinación del material genético en la bacteria *Escherichia coli*, se ha estudiado con insistencia el contenido del material genético. El «núcleo» bacteriano portador de material genético no se encuentra diferenciado en cromosomas, sino que, al igual que los virus, está formado por una gran molécula de ADN. En la micrografía electrónica adjunta puede apreciarse una parte del ADN de una bacteria, formando un filamento único de desoxirribonucleoproteína. Este filamento es comparable a un cromosoma único de una longitud de 1 mm que tendría la bacteria. El peso molecular del ADN bacteriano está alrededor de 2.000 millones.

Membrana nuclear.— El microscopio electrónico ha puesto de manifiesto que el núcleo se halla envuelto por una membrana de doble pared, la cual presenta orificios de trecho en trecho por los que el contenido nuclear y el citoplasmático se ponen en contacto.

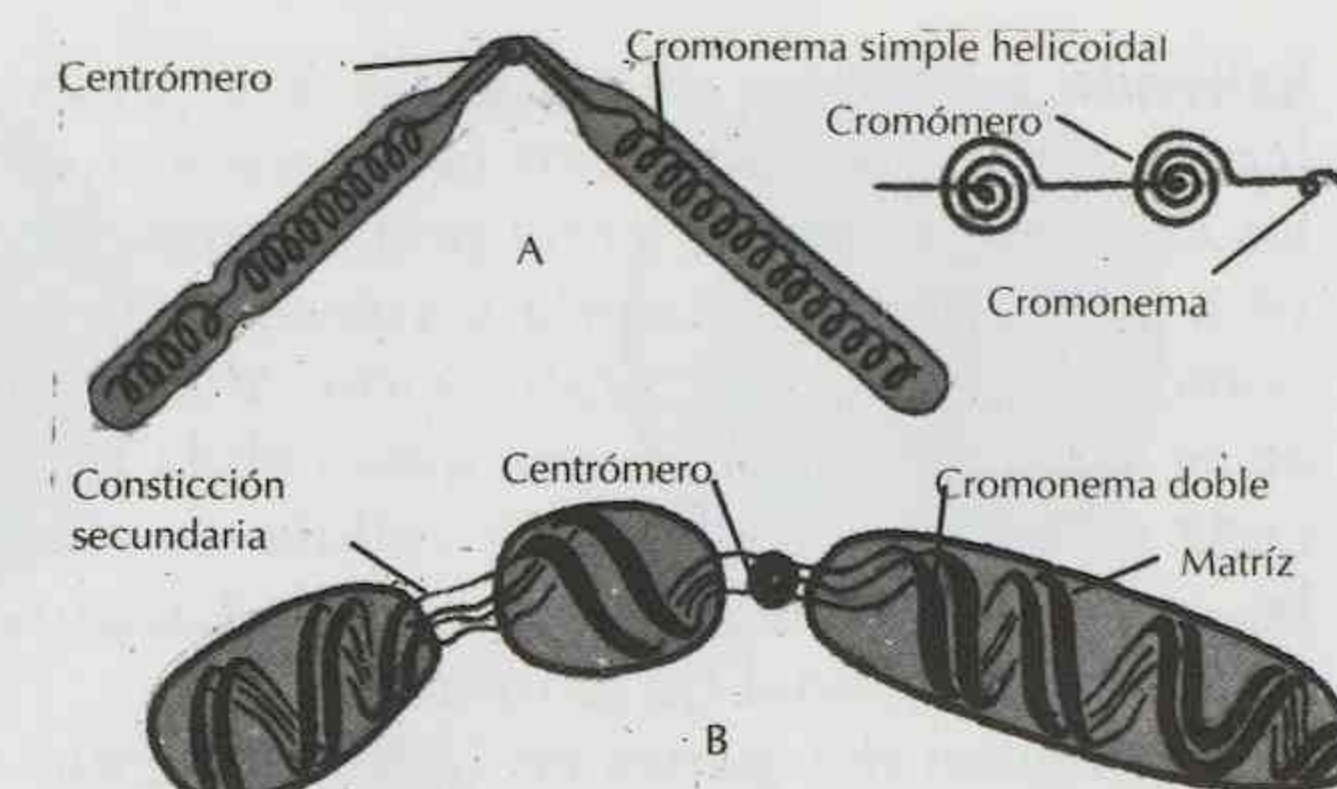
Membrana plasmática.— El contenido celular se encuentra separado del medio ambiente por una membrana plasmática. Debajo de ella hay estructuras que en conjunto constituyen una *corteza*. Esta corteza se ha mostrado en los óvulos fecundados de Equinodermos, Insectos, Moluscos y Anfibios, como portadora de la información necesaria para la formación del embrión. En el protozoo *Stentor*, V. Tartar mostró, en 1961, el papel importante que desempeña la corteza en la regulación de la alineación, y también en la orientación, de los cilios.



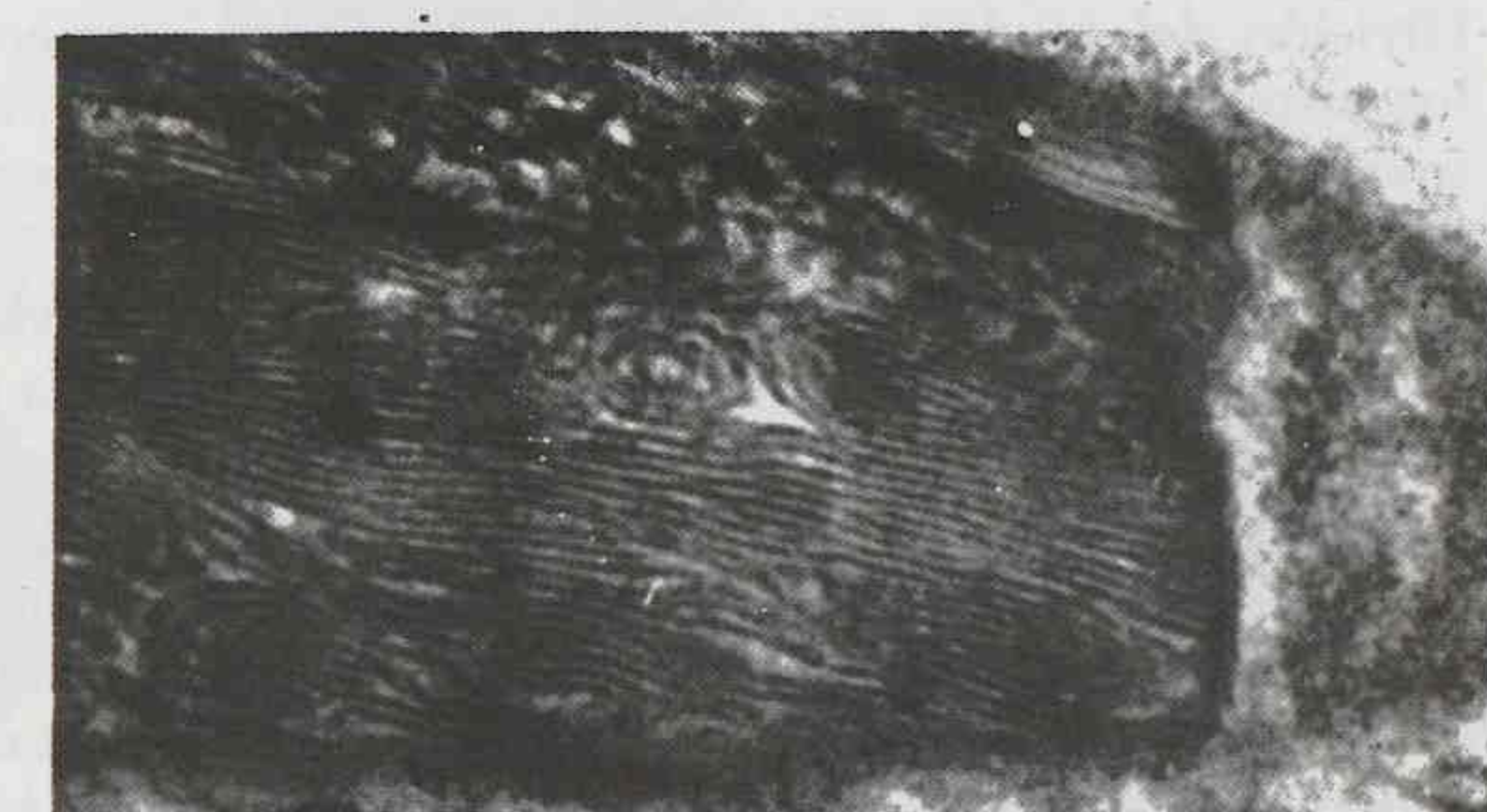
Cromosoma gigante de *Drosophila*. Se ponen de manifiesto las bandas que lo constituyen.



Cromosomas humanos. Se puede apreciar su espiralización. (Foto cedida por la Koulischer, Bruselas).



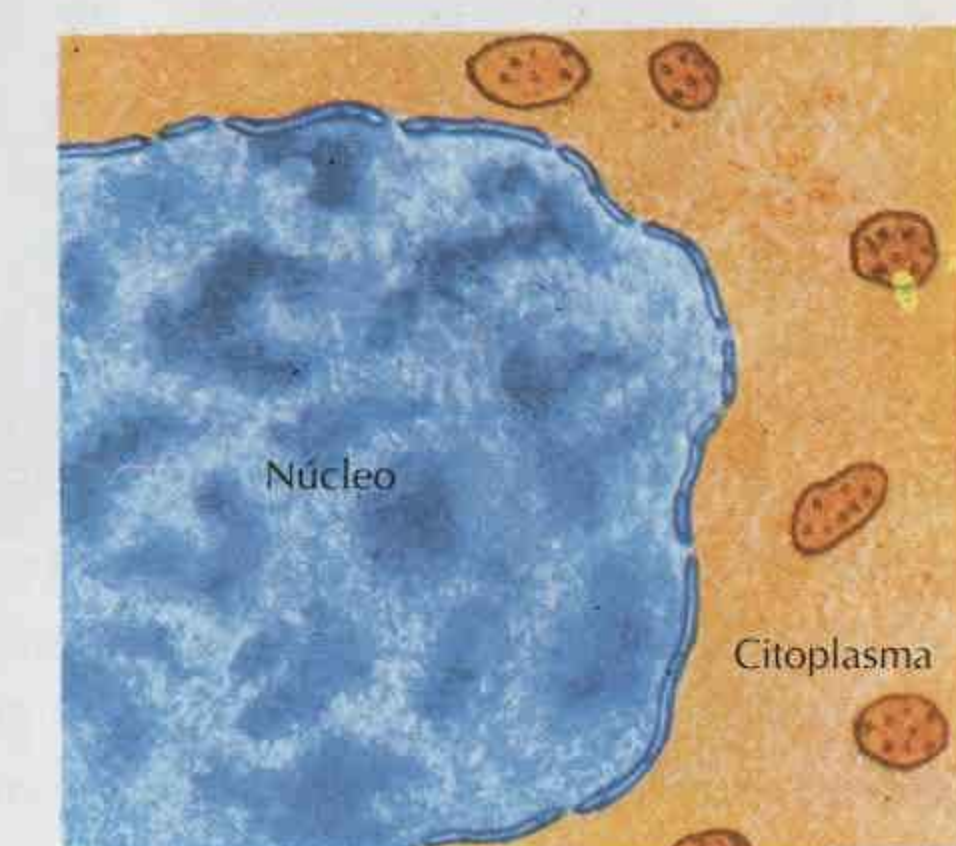
A, esquema de un cromosoma, según P. Grassé. B, cromosoma en anafase, con dos cromonemas.



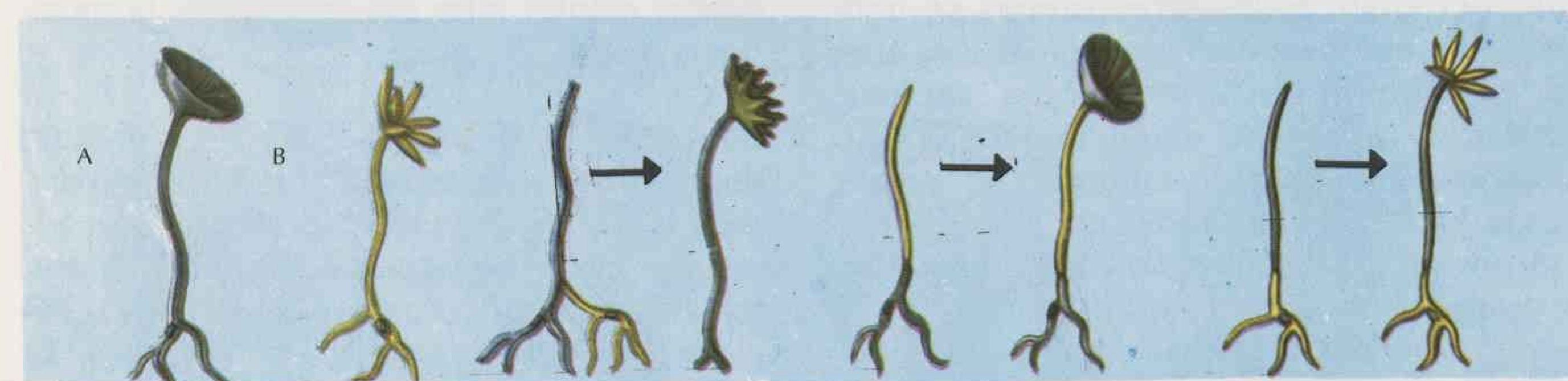
Base de la cabeza de un espermatozoide de caracol (*Helix*), mostrando la presencia de los cromosomas, según P. Grassé.



Micrografía electrónica que pone de manifiesto el filamento nuclear de la bacteria *M. lysodeileticus*.



Membrana nuclear con perforaciones, vista al microscopio electrónico.



Influencia del núcleo en el desarrollo de la forma en las algas *Acetabularia mediterranea* (A) y *A. cremulata* (B), injertadas recíprocamente.

DIVISIÓN CELULAR

Saliendo en contra de las ideas que prevalecían en su tiempo sobre la formación de las células, las que se creía podían originarse a partir de una materia viviente amorfa, como si fuera una cristalización, Virchow, en el siglo XIX, anuncia que toda célula procede de otra célula, «*omnis cellula e cellula*», con lo que se afirma la unidad reproductora y funcional de la misma. Se distinguen dos partes en la división celular: la división del núcleo o *cariotomía*, y la división del citoplasma o *plasmotomía*.

División del núcleo por mitosis.— Uno de los primeros síntomas de que la célula va a salir de su estado de reposo para iniciar la división es el aumento de volumen del núcleo y la aparición de filamentos en su masa; de aquí el nombre de *mitosis* (mitos = filamento) dado a esta clase de división. Para producirse se realizan cambios profundos que pueden estudiarse en cuatro fases: profase, metafase, anafase y telofase.

Profase.— Los cromosomas se acortan y se hacen más espesos, mostrándose al principio formando un ovillo o *espirema*, en el que se diferencian los cromosomas individualizados y coloreables. Al mismo tiempo desaparecen los nucléolos y, en el citoplasma, el centrosoma fracciona su centríolo en dos partes o *diplosoma*. Estas dos partes se separan una de la otra por divisiones de la centrosfera, quedando un puente citoplasmático entre ambos centríolos al que por su forma se le llama *huso acromático*, situándose un centríolo en cada uno de sus extremos. La profase dura en el huevo de *Drosophila* 3 minutos y 36 segundos.

Metafase.— Mientras se ha ido formando el huso acromático, los cromosomas se han escindido en dos mitades o *cromátidas*, que por disolución de la membrana nuclear quedan en suspensión en el citoplasma, colocándose en el plano ecuatorial del huso, dando lugar a la figura de una estrella. De aquí el nombre de *estrella madre* con que se designa este aspecto que adoptan. En este momento puede contarse con cierta facilidad el número de cromosomas propio de la especie. La metafase no dura más que 30 segundos en el huevo de *Drosophila*.

Anafase.— Las dos cromátidas se separan arrastradas por los filamentos tractores del huso acromático y se dirigen a los dos polos de la célula, convertidas ya en cromosomas hijos. En esta fase se acaba la división de cada cromosoma en dos. Dura 1 minuto, 12 segundos en la *Drosophila*.

Telofase.— Los cromosomas se reúnen formando dos núcleos hijos y se hacen invisibles por un proceso inverso al de la profase. La telofase dura 54 segundos en el huevo de *Drosophila*.

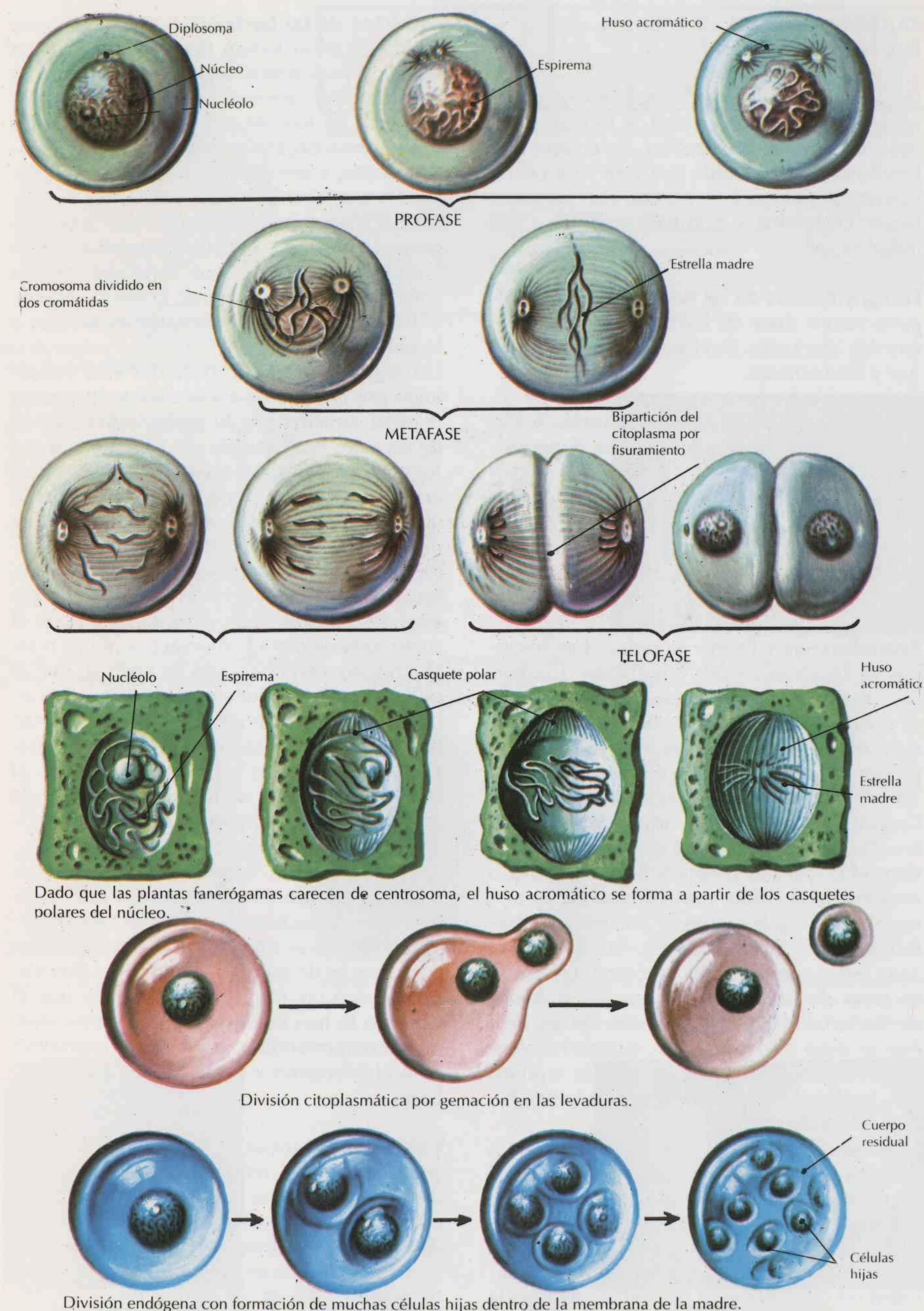
Amitosis.— Otra forma, aunque menos corriente, es la división directa del núcleo o *amitosis*. En ella el núcleo se divide por estrangulamiento.

División plasmática.— De un modo general, a la división del núcleo sigue la división del citoplasma, repartiéndose equitativamente entre las dos células hijas los elementos del aparato de Golgi y del condrioma. Podemos distinguir tres tipos en esta clase de división: *bipartición*, *gemación* y *división endógena*. La *bipartición* es la forma típica de la división celular, originando la célula madre dos células hijas iguales.

La *gemación*, frecuente en las levaduras y otros hongos, consiste en la aparición sobre la célula madre de una o varias yemas que por estrangulamiento se separan después de haber recibido un núcleo.

En la *división endógena* se realizan varias divisiones nucleares sucesivas, cada una de las cuales queda finalmente envuelta por una cantidad determinada de plasma, dando origen a cierto número de células hijas libres dentro del plasma de la célula madre, tal como sucede en la formación de las esporas de los hongos ascomicetos. Parte del plasma de la célula madre no es utilizado y queda como *cuerpo residual*, siendo puestas en libertad las células hijas por ruptura de la membrana madre.

Causas de la división celular.— La división del núcleo no va necesariamente acompañada de la división del citoplasma, como puede comprobarse en los plasmodios, masas protoplasmáticas constituidas por numerosos núcleos formados a partir de uno primitivo. La *cariotomía* y la *plasmotomía* son dos fenómenos independientes entre sí, aunque con frecuencia superpuestos.



CULTIVO Y FORMA DE LAS BACTERIAS

Las bacterias son seres microscópicos pertenecientes al mundo vegetal, y forman parte del grupo de las Esquizofitas. Su cuerpo está típicamente constituido por una sola célula carente de núcleo y de plastos, aunque todas tienen cromatina y, algunas, pigmentos asimiladores.

Forma y tamaño de las bacterias.— Se distinguen cuatro tipos de bacterias: redondeadas (*cocos*), alargadas (*bacilos*), curvadas (*espirilos*) y filamentosas.

La forma de las bacterias no es constante, sino que éstas adoptan aspectos varios según las condiciones ambientales. Las dimensiones oscilan entre amplios límites. Las *parvobacterias*, como las que producen la tos ferina, miden 3μ de largo por $0,5\mu$ de ancho, mientras que en las infusiones de hojas secas hay bacterias de 10μ de largo por 1μ de ancho.

Reproducción y forma de vida.—Las bacterias se reproducen por bipartición. Cuando las condiciones son buenas, algunas especies se dividen varias veces en una hora, de manera que en 24 horas un individuo puede producir varios millones de descendientes. También existe la reproducción sexual. Cuando las condiciones son desfavorables, muchas bacterias forman esporas, agrupándose el contenido plasmático en el centro o extremo de la célula y envolviéndose en una membrana. Las bacterias se encuentran diseminadas por toda la Tierra; las hay en el agua, en el suelo y en la atmósfera. Un grano de tierra de labor contiene muchos millones de bacterias. La amplia difusión de las mismas se debe a su gran capacidad de resistencia, motivada en buena parte por las esporas, a su facilidad de multiplicación y a la diversidad del modo de nutrición.

La temperatura de 20°C es la óptima para la mayoría de las bacterias y, en general, a 0°C ya no se desarrollan. De aquí la utilización del frigorífico para conservar los alimentos. Las que no forman esporas mueren ya entre los 70°C y 90°C . Las que forman esporas resisten un calor húmedo de 100°C , incluso la ebullición durante varias horas. La resistencia al calor seco se puede elevar hasta 120°C .

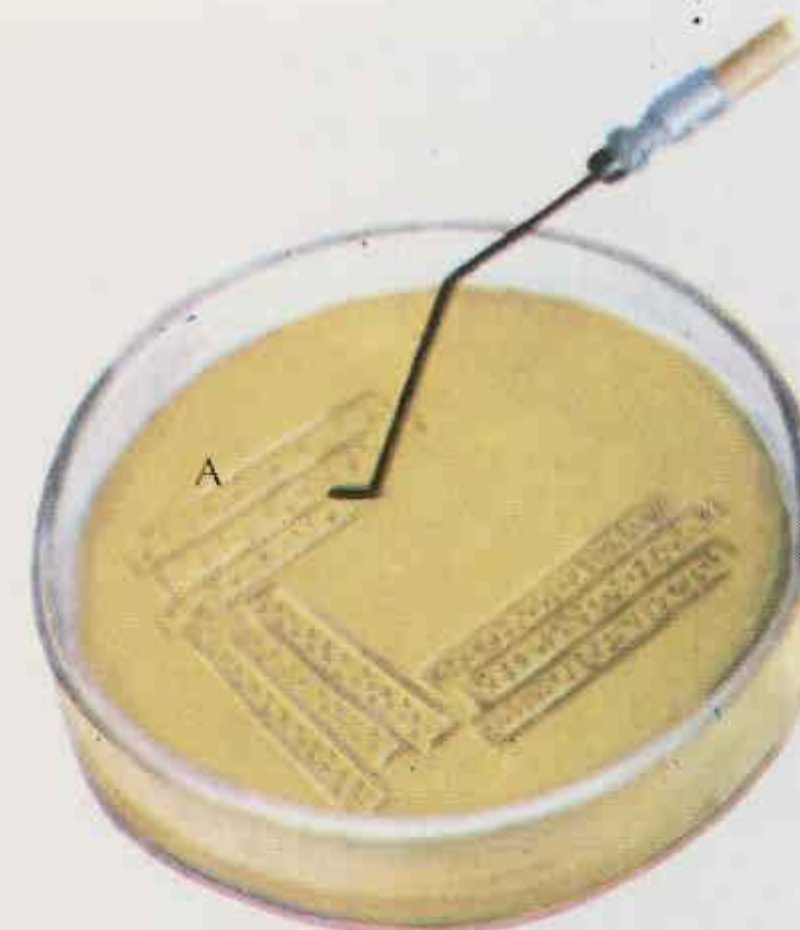
Nutrición de las bacterias.— La mayor parte de las bacterias toman directamente materia orgánica para sintetizar su protoplasma: son las bacterias *heterótrofas*. Entre ellas podemos distinguir las *saprófitas*, que se desarrollan sobre materia orgánica muerta, a la que descomponen, como *Bacillus putrificus*, que produce la putrefacción de los cadáveres.

Las bacterias heterótrofas que viven sobre vegetales o animales se llaman *parásitas*. A este grupo pertenecen las que son causantes de enfermedades tan peligrosas como la difteria, el tétanos, la tuberculosis, la fiebre tifoidea y la sífilis.

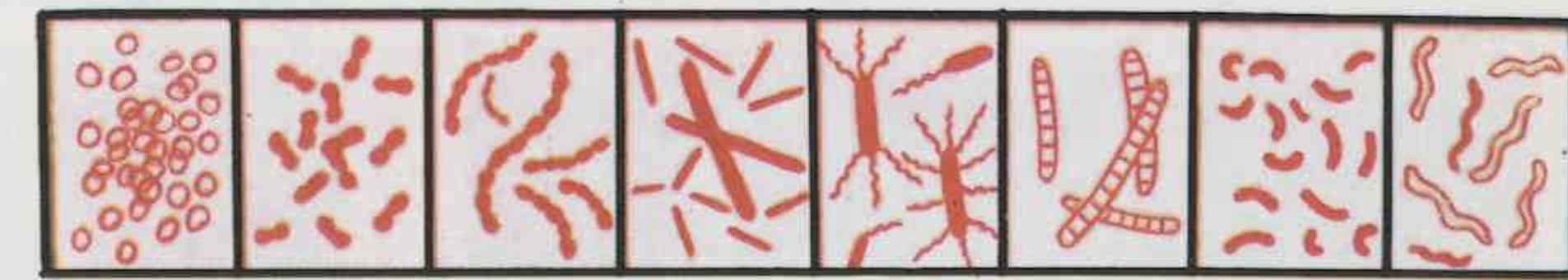
Un segundo grupo de bacterias está constituido por aquellas que viven sobre la materia mineral, sintetizando su protoplasma a partir de las sales inorgánicas; son las bacterias *autótrofas*. La energía necesaria para sintetizar los hidratos de carbono a partir del CO_2 la obtienen, ya oxidando sustratos inorgánicos diversos (*bacterias quimiosintéticas*), ya directamente de la luz solar (*bacterias fotosintéticas*). Entre las bacterias quimiosintéticas están las *nitrobacterias*, muy difundidas en el suelo, que oxidan el amoníaco a nitrato o éste a nitrato, con liberación de energía, que es utilizada en la producción de hidratos de carbono. La formación de nitritos corre a cargo de las *nitrosomonas*, mientras que las *nitrobacterias* convierten los nitritos en nitratos. El amoníaco proviene de la descomposición de las proteínas de la materia orgánica producida por otras bacterias.

Entre las bacterias fotosintéticas están las *rodobacterias*, que tienen pigmentos asimiladores, como la *bacterioclorofila*, de color verde. Finalmente hay un grupo de bacterias que son capaces de asimilar el nitrógeno atmosférico, como las *Rhizobium*, mientras que el carbono lo han de tomar bajo la forma orgánica, comportándose, pues, como autótrofos para el nitrógeno y heterótrofos para el carbono.

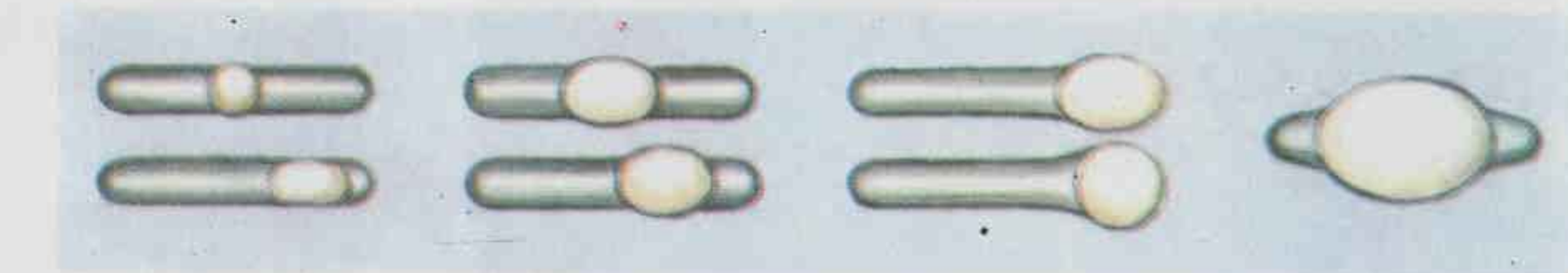
Cultivo de bacterias.— Para estudiar una especie bacteriana determinada se ha de aislar del medio en que se encuentra y cultivarla. El cultivo más adecuado es un medio sólido, dentro de una *cápsula de Petri*, en cuya superficie se siembran las bacterias con el asa de platino. Uno de los medios de cultivo utilizados para las bacterias heterótrofas lo constituye el *caldo de carne* en agar.



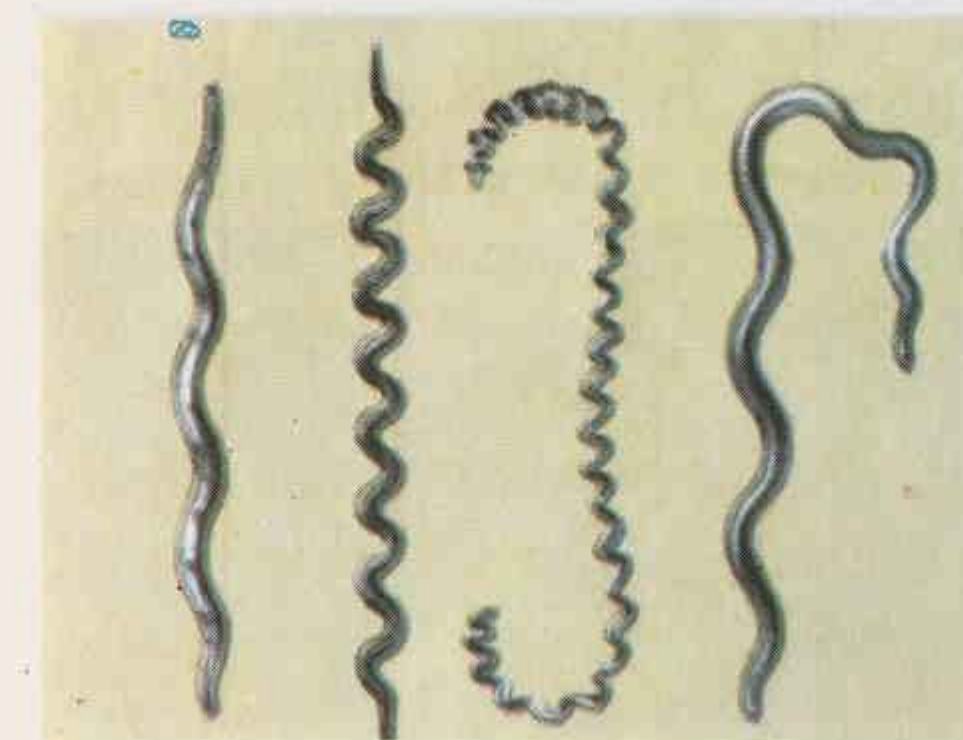
Forma de sembrar bacterias en una cápsula de Petri. En A se obtienen colonias aisladas.



Micrococcus Diplococcus Streptococcus Bacterium Bacillus Leptothrix Vibrio Spirillum



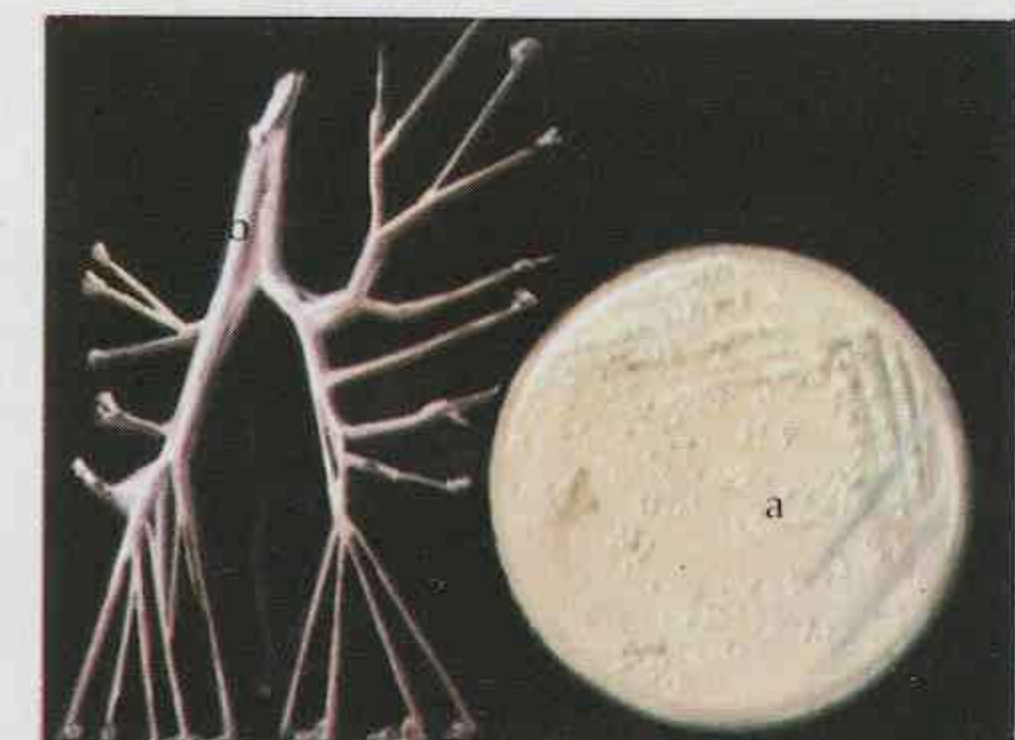
Diversos tipos de esporulación en las bacterias.



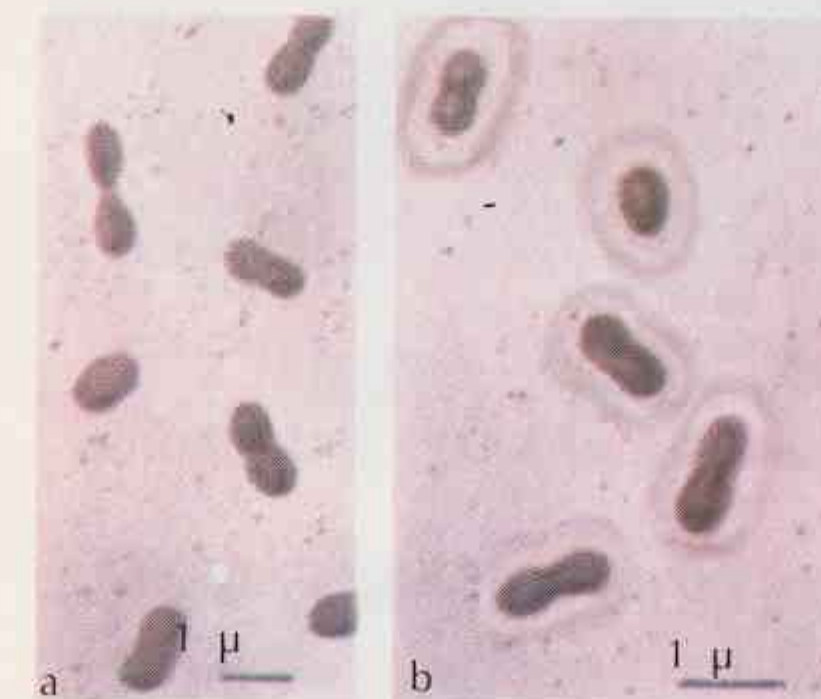
Diversas formas de espiroquetas. Difieren de las otras bacterias por su flexibilidad.



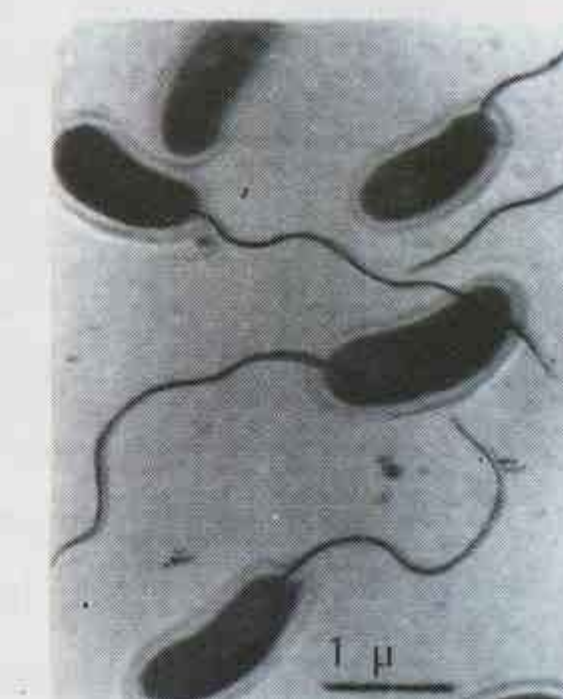
Eritrocitos humanos rodeados del *Bacillus anthracis*, productor del carbunco.



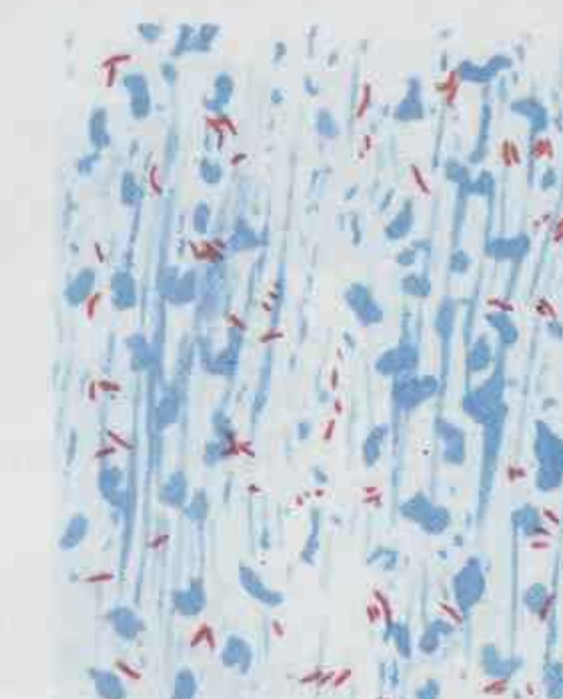
Colonias de *Corynebacterium diphtheriae* cultivadas en agar (a). En b, membranas diftericas sacadas de las vías respiratorias.



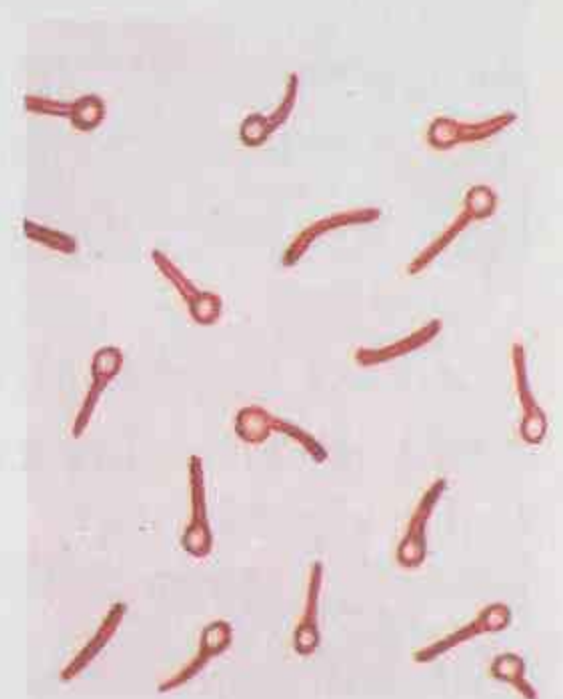
Diplococcus pneumoniae, productor de la pulmonía. En a, estado normal; en b, atacado por un suero específico.



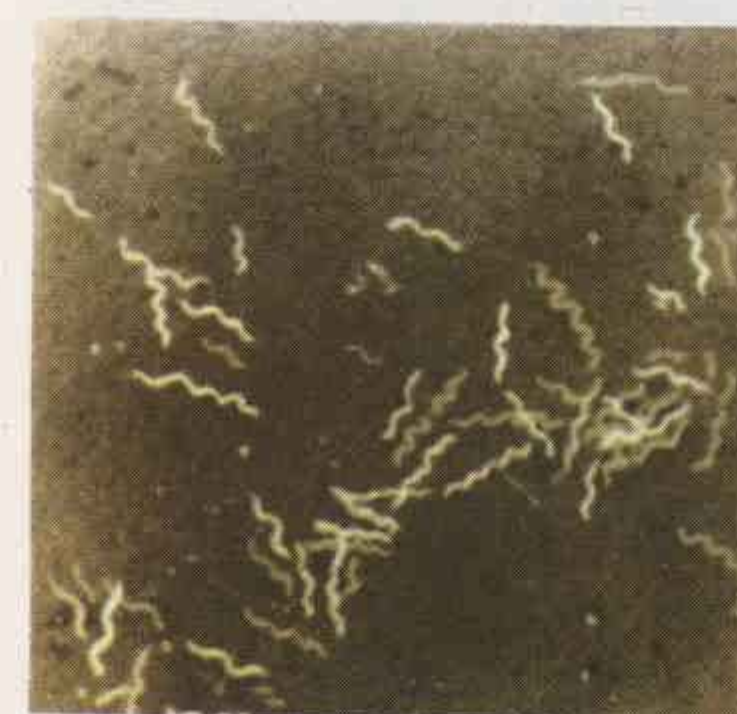
Vibrio comma, productor del cólera asiático.



Bacilos de la tuberculosis teñidos en rojo por el método de Ziehl Neelsen.



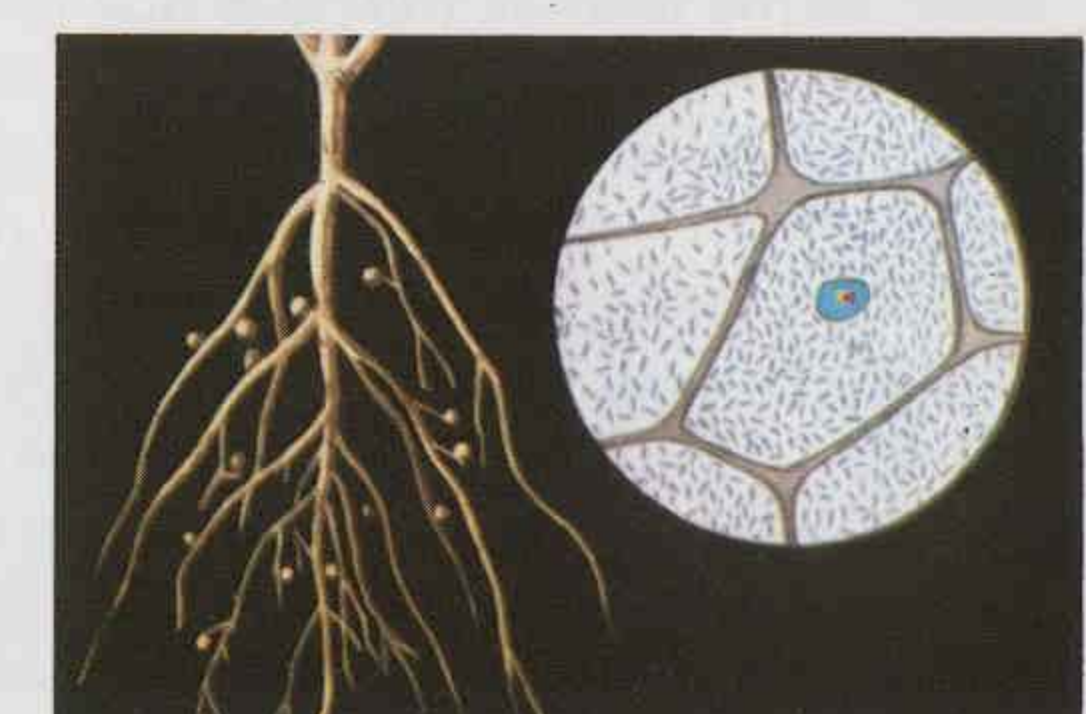
Clostridium tetani, productor del tétanos, se encuentra en el suelo.



Sporovibrio desulfuricans reduce los sulfatos a SH_2 .



Spirillum rubrum vive en las aguas en putrefacción.



Diversas especies de *Rhizobium* asimilan el nitrógeno atmosférico.

VIRUS

En el año 1892 descubrió Ywanowski que el jugo de las hojas de tabaco atacadas por la enfermedad llamada «en mosaico» conservaba sus propiedades infecciosas después de hacerlo pasar a través de un filtro de poros muy finos que no permitían el paso de las bacterias. A estos agentes invisibles al microscopio ordinario, que atraviesan los filtros cual lo haría una sustancia química y son capaces de producir enfermedades, se les consideró como venenos, dándoseles el nombre de *virus*. Todos son incapaces de multiplicarse, si no están alojados en una célula viva.

Constitución química de los virus.— Los virus están compuestos de una región central de ácido nucleico y de una envoltura proteica, obteniéndose cristalizados. Los virus de los animales tienen la región central de ADN y ARN; la de los virus de los vegetales es solamente de ARN. Para su estudio se han obtenido buenos resultados aplicando los rayos X y el microscopio electrónico, sobre todo en el virus del mosaico del tabaco, VMT. Este tiene forma de bastón de 3.000Å de longitud y 170Å de ancho. Su peso molecular es de 45 millones y se compone de 95 % de proteínas y 5 % de ARN. Sin embargo, este bastón está hueco, con un conducto de 40Å de diámetro en su centro, presentando alrededor de dicho conducto una cadena de ARN arrollada en espiral y compuesta de unos 8.000 nucleótidos. La cadena de ARN está envuelta por una formación de moléculas de proteína, cada una de las cuales posee un peso molecular de 17.000.

Morfología y estructura de los virus.— La aplicación del microscopio electrónico al estudio de los virus probó, ya en un principio, que los virus de los vegetales tenían, en general, forma bacilar, mientras que los virus de los animales aparecían redondeados. Utilizando después la técnica del sombreado metálico, Smith y Williams, en 1957, demostraron en un virus cristizable de un insecto (*Ti-pula paludosa*), mosquito gigante de los prados, que dicho virus ofrecía un contorno hexagonal y que arrojaba sombras punteadas correspondientes a un icosaedro. Fue la primera vez que quedó evidente la forma geométrica de las partículas de un virus. También, por la misma época, R. C. Valentine tiñó el *adenovirus* —causante de infecciones

respiratorias febriles en el hombre— con acetato de uranilo y de la misma manera se manifestó con contorno hexagonal.

Crick y Watson, en 1956, ya habían expresado la idea de que la parte central de los virus, compuesta de ácido nucleico, tenía que estar rodeada por una envoltura proteica o *cápsida*, dividida ésta, a su vez, en subunidades o *capsómeros*. En las reproducciones adjuntas del adenovirus puede apreciarse la región central del virus, compuesta de ADN, y la cápsula proteica envolvente, formada de subunidades. Esta capa proteica es la que actúa de antígeno, provocando la formación de anticuerpos por el individuo infectado.

Virus de vegetales.— Hay gran número de plantas vulnerables a la acción de los virus, pero, cosa curiosa, las coníferas y las plantas inferiores, como los hongos y los helechos, parecen inmunes a ellos. En general, un mismo virus puede infectar a varias especies vegetales.

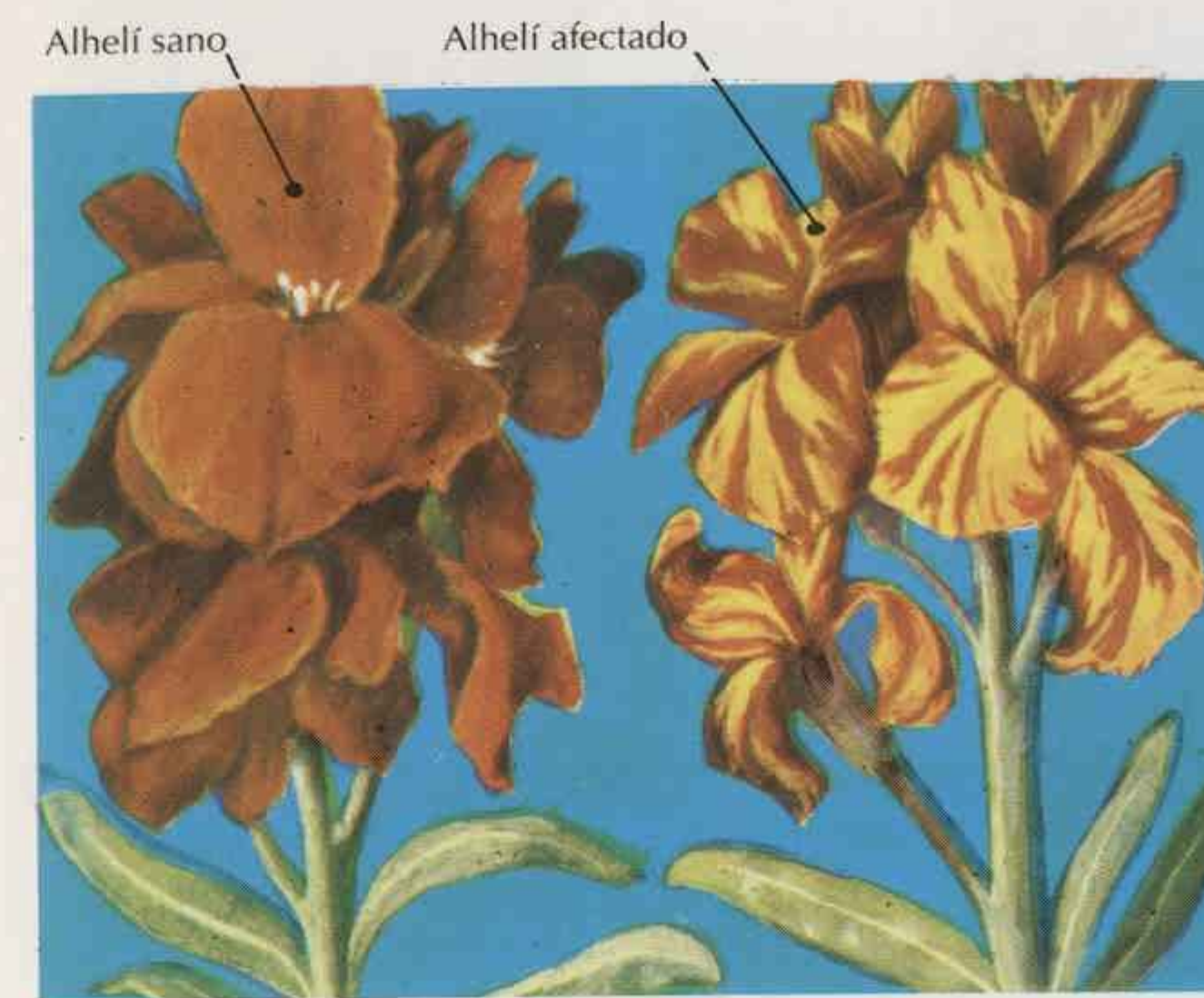
Uno de los síntomas que llaman más la atención es la alteración del color de las flores. A veces esta mudanza afecta sólo a parte de la pigmentación, obteniéndose entonces un efecto multicolor, como ocurre en el pensamiento y en la espuela de caballero cuando son atacados por el *virus del mosaico del pepino*.

En otras ocasiones se producen tales deformaciones en las hojas que los agricultores creen que los insectos las han comido, como sucede en el tomate atacado por el *virus del mosaico del pepino*. También tienden a formar anillos, como sucede ante un determinado virus del tomate.

La identificación de la enfermedad virósica se hace por inoculación a plantas testigo, cuyas reacciones motivadas por ciertos virus son previamente conocidas.

Virus de animales.— En los insectos se han estudiado diferentes grupos de virus, caracterizados todos ellos por las formas patológicas que originan en los tejidos del huésped. Hay un grupo que da lugar a las enfermedades llamadas «poliédricas», por producirse cuerpos poliédricos dentro de los tejidos, presentándose como unas cápsulas en cuyo interior están las partículas del virus. Los virus poliédricos *nucleares* se desarrollan en el núcleo

(Concluye en la lámina F/5)



Muchos virus destruyen los pigmentos antocianos de las flores; y ello produce efectos multicolores.



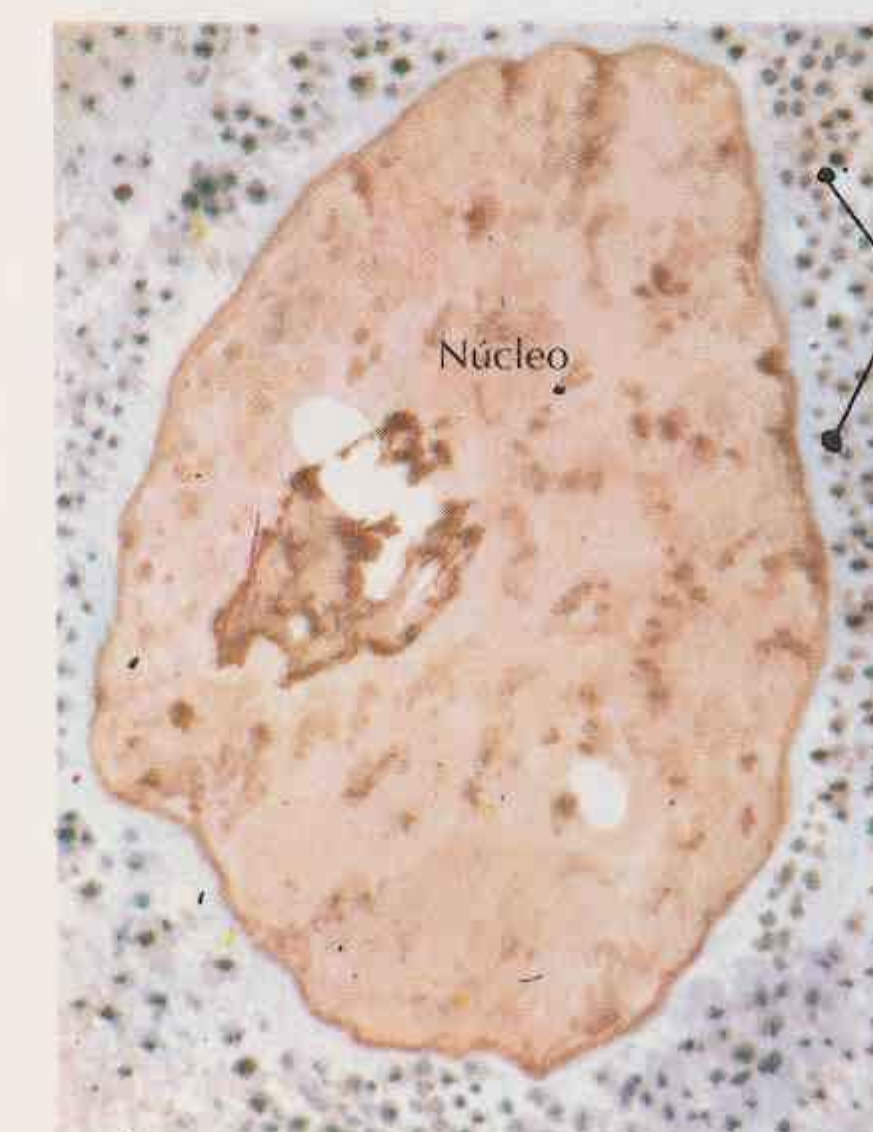
Lesiones causadas en las hojas del tabaco por el virus de la necrosis del tabaco.



Un virus, transmitido por hemípteros, produce la infección que causa el arrollamiento de la hoja de la patata.



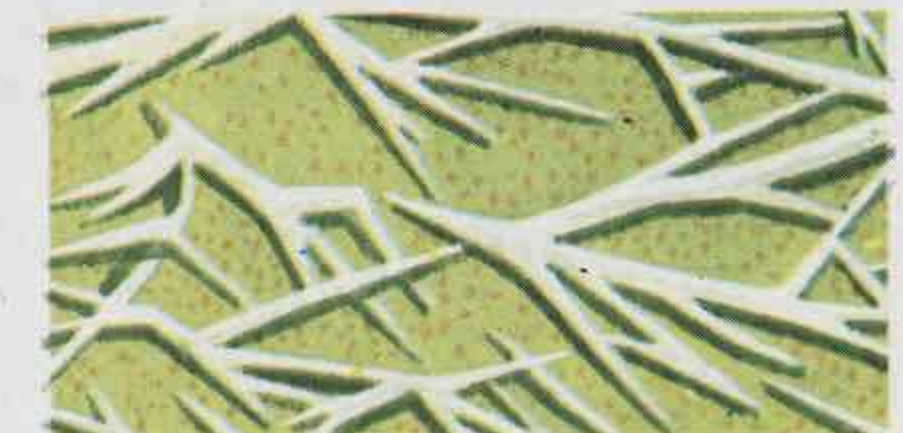
Lesión anular producida por el virus del marchitamiento moteado del tomate.



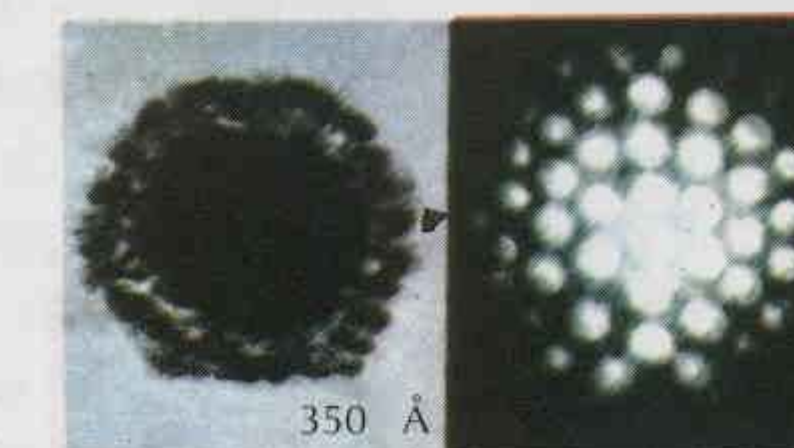
Célula del mosquito atacada por el virus VIT, aumentada 500 veces.



En b, una partícula de virus VIT, aumentada 50.000 veces, que produce las mismas sombras que un icosaedro (a).



Virus del mosaico del tabaco, visto con el microscopio electrónico.



Adenovirus con ADN en el centro. Adenovirus con capsómeros.



Bacteriófagos (b) atacando una bacteria (a).

Agrupaciones celulares y tejidos

SINCICIOS Y COLONIAS

Los seres vivos que están constituidos por una sola célula realizan también todas las actividades propias de la vida, tales como la nutrición, la reproducción y las relaciones con el medio externo; son organismos como los demás, aunque *unicelulares*, es decir, que una sola célula ejecuta todas estas funciones. Hay un segundo grupo de organismos constituidos por muchas células: son seres *pluricelulares*. Esta agrupación celular puede ser sencilla o bien adquirir gran complejidad morfológica.

Plasmodios y sincicios.— La constitución celular, tal como la hemos visto, no siempre se da en todas las masas vivientes, sino que a veces se encuentran organismos constituidos por una masa plasmática con varios núcleos sumergidos en ella, no apreciándose límites celulares: esto constituye un *plasmodio*. Aun cuando el plasmodio tiene una masa citoplasmática continua, se admite, sin embargo, que cada núcleo rige la actividad del citoplasma que le envuelve, llamándose *enérgida* a este territorio citoplasmático controlado por el núcleo. El plasmodio se origina por divisiones sucesivas del núcleo, acompañadas por un aumento de masa del citoplasma, a pesar de lo cual éste no se divide.

De aspecto parecido al plasmodio, pero formado por fusión de células, es el *sincicio*. Aquí, las células, en un principio individuales, emiten prolongaciones que se fusionan, y queda generalmente una red de células, sin límites que separen las unas de las otras.

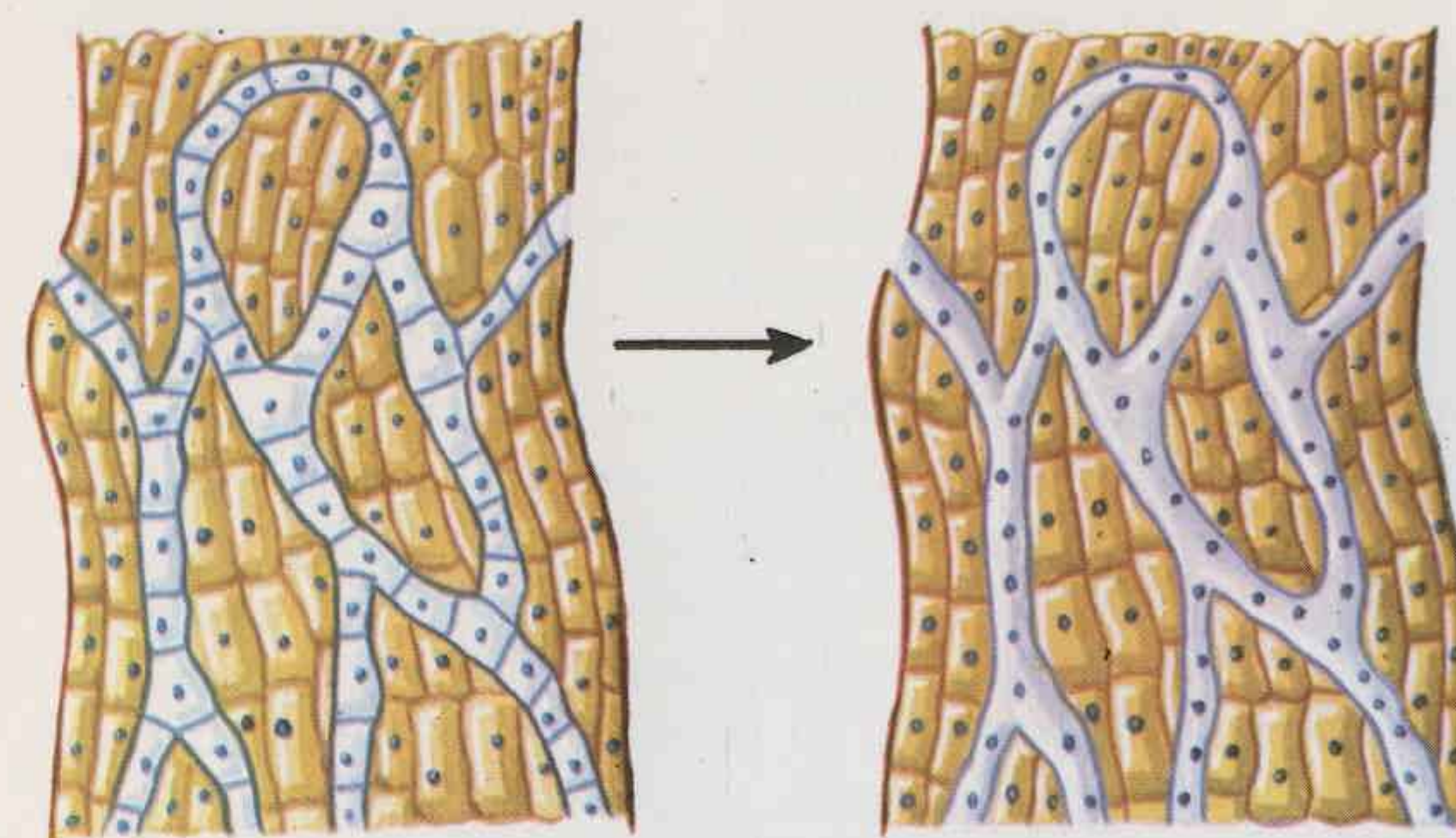
Colonias celulares.— Entre las formas vivientes inferiores se encuentran agrupaciones de pocas células que se han originado a partir de una célula primitiva: estos conjuntos celulares constituyen una *colonia*. En ella, cada célula realiza las funciones propias de un ser vivo, haciendo vida independiente y dando lugar, cuando llega el momento de la reproducción, a una colonia hija. En *Codonocladium umbellatum*, flagelado que vive en las aguas dulces, los individuos celulares están enlazados por medio de un pedúnculo y en *Volvox* hay varios núcleos, con células unidas entre sí por puen-

tes citoplasmáticos y mucílago, produciendo una esfera hueca llena de mucílago y visible a simple vista. Cada célula constituyente tiene dos flagelos, una mancha ocular sensible a la luz y un cloroplasto. *Volvox* tiene reproducción sexual, y aquí ya se aprecia un principio de *diferenciación morfológica* entre los individuos que componen la colonia. *Volvox* puede ser ya considerado como un individuo pluricelular, individuo que está destinado a «morir», salvo las células que constituyen la línea germinal.

Individuos pluricelulares.— La actividad de las células agrupadas para constituir una unidad morfológica superior se traduce por una especialización de sus funciones, que lleva, como consecuencia, a una diferenciación también morfológica. En el alga verde *Ulva* se advierte cómo las células terminales son las encargadas del crecimiento, con lo que aparece una división del trabajo. En los musgos se observa cómo las células se diferencian de la siguiente manera: las unas para realizar la *fotosíntesis*, las otras, al alargarse, se transforman en *pelos rizoides* que tomarán agua del suelo, proporcionando además soporte a la planta, mientras que unas terceras se encargan de la *reproducción*, asegurando la permanencia de la especie.

Tejidos.— La agrupación celular, con la consiguiente diferenciación del trabajo fisiológico, representa una mayor eficacia en la actividad del conjunto. La división del trabajo presupone unas adaptaciones de la forma de la célula a la función que ha de realizar, para poder así efectuar su cometido con mayor perfección. El resultado de las adaptaciones celulares a un trabajo fisiológico determinado es la aparición de grupos de células con una morfología típica y con una función propia: este conjunto celular constituye un *tejido*.

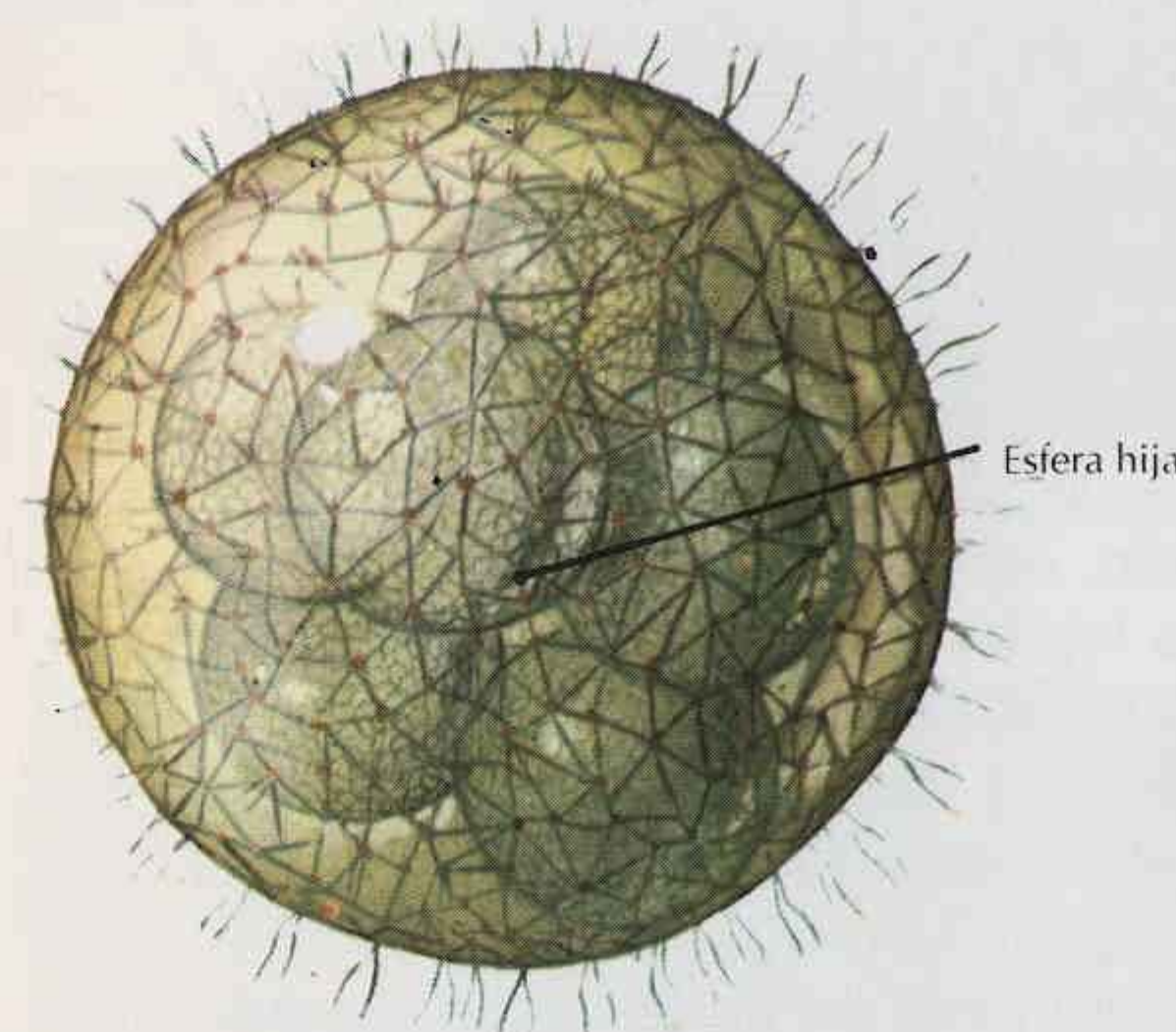
Entre los vegetales inferiores las agrupaciones celulares suponen el principio de la formación de un tejido, aunque imperfecto, puesto que no está diferenciado, y al cual podemos denominar *parénquima*. En este tejido todas las células llevan a cabo funciones diversas.



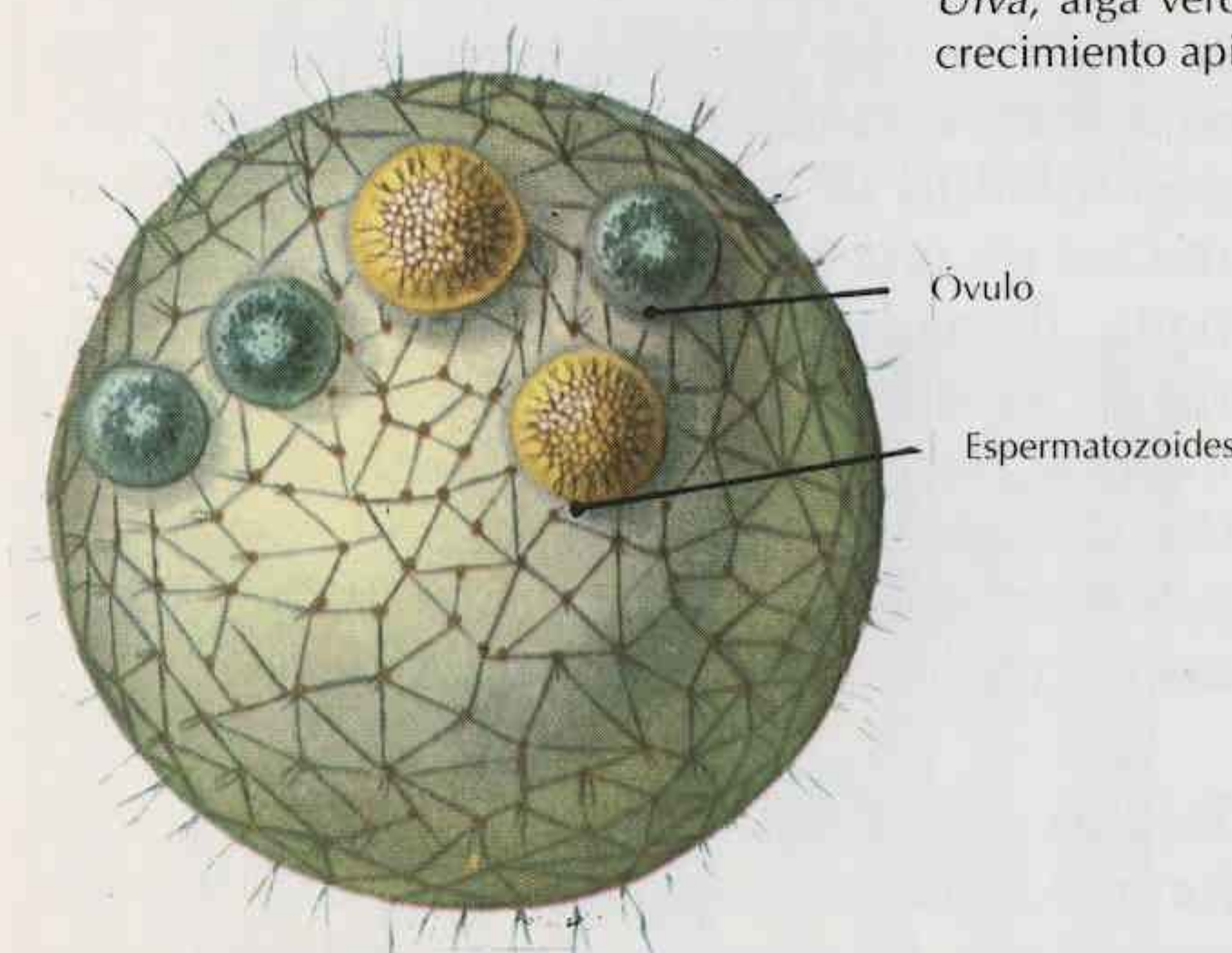
Formación de sincicios en la raíz de una compuesta (*Taraxacum*), originándose tubos conductores de látex.



En el plasmodio hay una masa unicelular con muchos núcleos, como en *Halicystis*, alga marina.



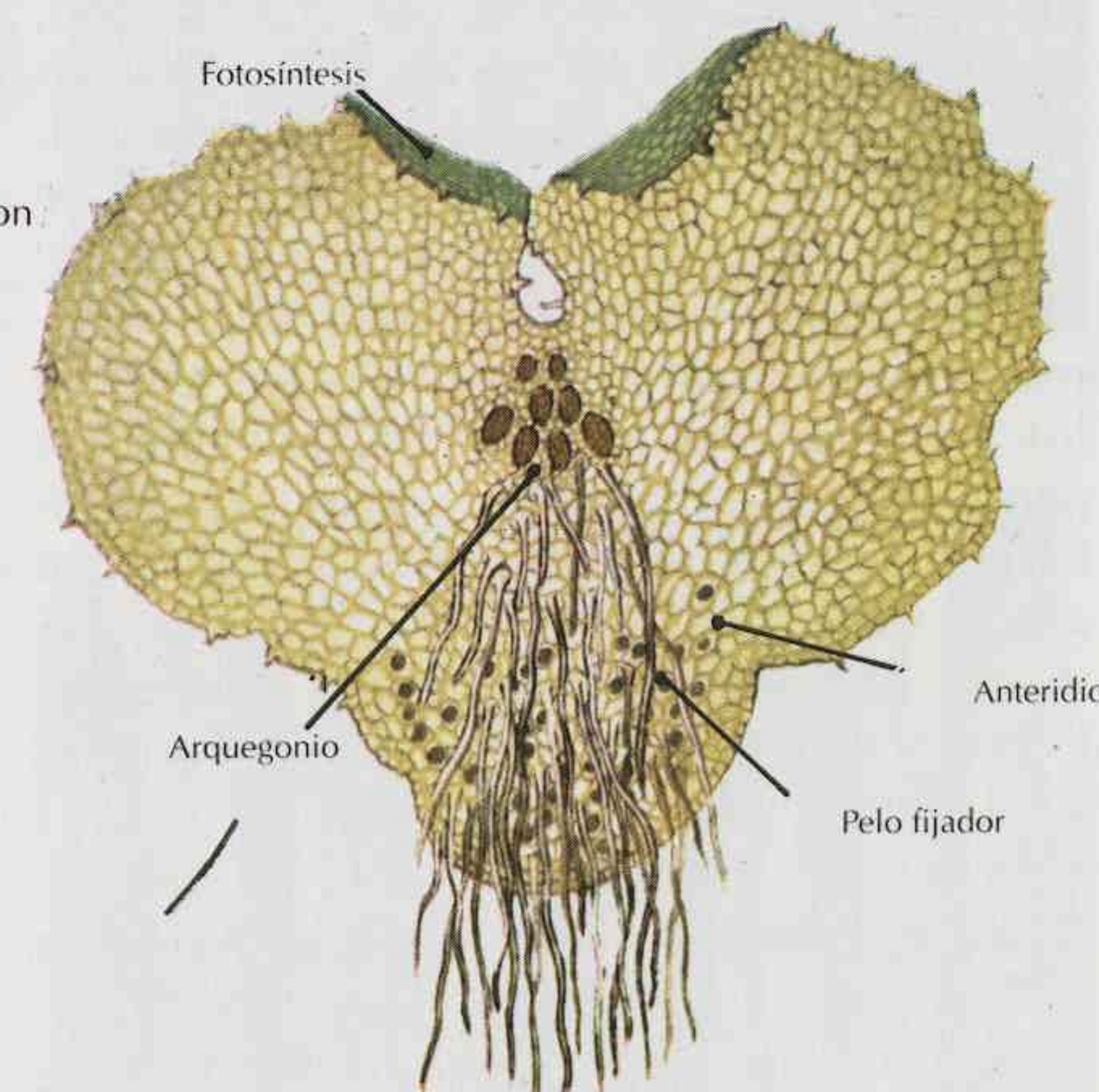
Volvox muestra en su reproducción asexual una diferenciación entre sus células.



Reproducción sexual de *Volvox*. Hay individuos para la reproducción y otros destinados a «morir».



Codonocladium umbellatum, colonia de células flageladas.



Protalo de helecho con células verdes destinadas a la fotosíntesis, y otras, a la reproducción y a la fijación en el suelo.

TEJIDOS VEGETALES

La célula vegetal se caracteriza por estar envuelta por una membrana celulósica; la comunicación de todas las células del interior de un tejido con el exterior se ve favorecida por la aparición de *meatos*, que son espacios intercelulares bañados por agua o, más frecuentemente, llenos de aire.

Meristemas.— Las células que constituyen estos tejidos son células embrionarias relativamente pequeñas, de membranas delgadas y plasma abundante, que tienen por misión reproducirse y originar las restantes células adultas del vegetal. Se distingue un *meristema primario*, de células siempre embrionarias y situadas principalmente en los *puntos vegetativos* (meristemas terminales), los cuales se encuentran en los extremos de las ramas y raíces, donde aseguran el crecimiento en longitud, convirtiéndose después dichas células en los tejidos adultos del vegetal. Los *meristemas secundarios* proceden de células adultas que se transforman de nuevo en células embrionarias: son el *cambium* y el *felógeno*.

Tejidos parenquimáticos.— Las células de estos tejidos se diferencian de las embrionarias porque de ordinario no se reproducen, tienen tamaño mucho mayor y son pobres en plasma y ricas en vacuolas, estando sus membranas poco engrosadas por la celulosa. La célula parenquimática desempeña todavía múltiples funciones, como son la elaboración, transporte y acumulación de sustancias elaboradas por ella, así como la respiración y almacenaje de agua. El parénquima constituye la masa fundamental del vegetal. Hay un *parénquima asimilador* con células ricas en cloroplastos, el cual se desarrolla sobre todo en los tallos jóvenes y en las hojas. Hacia las partes internas del vegetal y en todas las subterráneas existen parénquimas incoloros que almacenan azúcar, almidón, aceites, etc., llamados parénquimas *reservantes*. Hay también un *parénquima acuífero*, que acumula agua, como en las chumberas.

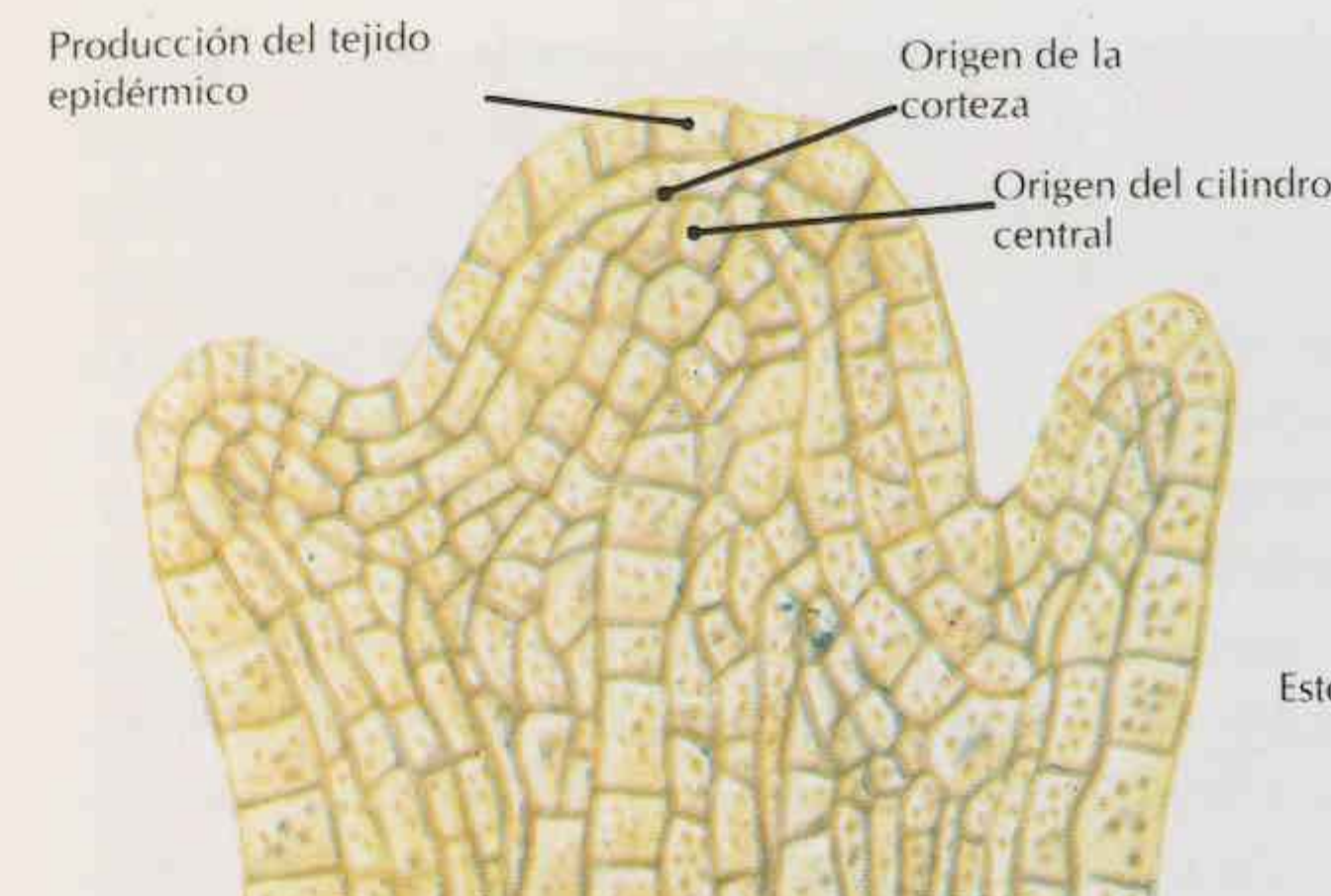
Tejido epidérmico.— Los vegetales terrestres de menos de un año tienen su cuerpo protegido contra rozaduras y contra la evaporación. Esta defensa se realiza por medio de células incoloras adosadas unas a las otras y que constituyen la *epidermis*. Se caracterizan estas células por carecer de clorofila, por te-

ner la parte que da al exterior recubierta por una membrana de cutina que forma la *cutícula* impermeable y por presentar unas aberturas en forma de ojal, que constituyen los *estomas*. Ciertas células epidérmicas pueden transformarse en *pelos*.

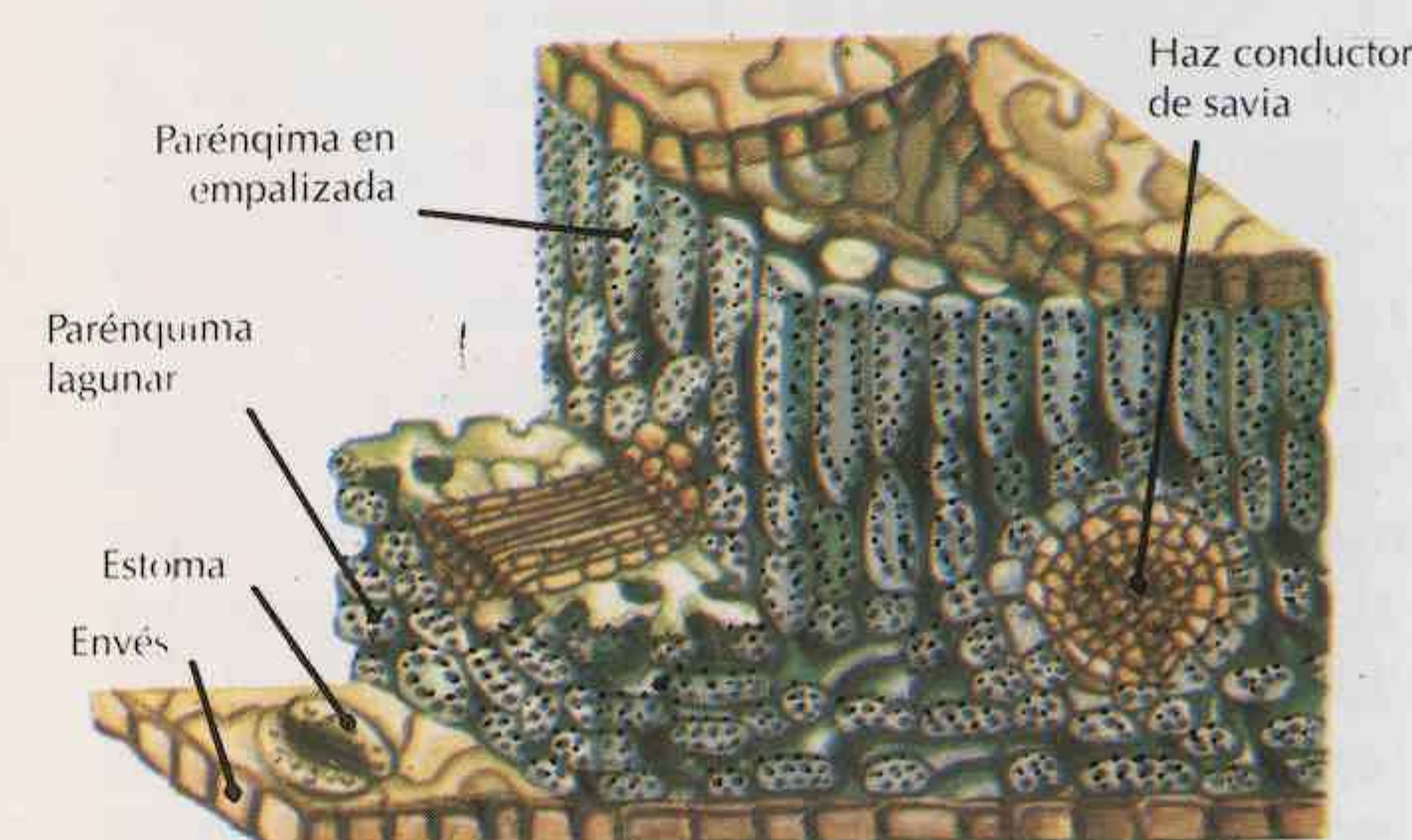
Tejido suberoso.— En los tallos y raíces de más de un año, el tejido epidérmico es sustituido por el tejido suberoso formado por capas de células muertas llenas de aire que proporcionan una protección más eficaz que la epidermis. La corteza de la patata y la de los árboles están compuestas de tejido suberoso. Sin embargo, como que la sustitución de la epidermis por el corcho o súber anularía el intercambio de gases a través del cuerpo de la planta, realizan la función propia de los estomas unas perforaciones llamadas *lenticelas*, que se advierten a simple vista en las superficies de los vegetales leñosos.

Tejidos conductores.— El sistema de transporte representado por las células parenquimáticas se hace insuficiente, siendo necesaria en las Fanerógamas y Pteridofitas la presencia de células especializadas en la conducción, en forma de tubo alargado, propias de los tejidos conductores y constituidas por *tejido leñoso* o *leño* y *tejido liberiano* o *líber*. El leño está típicamente formado por largas células muertas dispuestas en filas, las cuales reabsorben sus tabiques de separación al mismo tiempo que refuerzan sus paredes con lignina, formando largos *vasos* o *tráqueas* destinados a la conducción de la savia bruta desde las raíces a las partes verdes del vegetal. El líber se halla compuesto por un conjunto de células vivas en forma de *tubos*, con una gran vacuola central, pero sin núcleo, controlando la actividad del citoplasma el núcleo de una célula hermana, que la acompaña, llamada *célula anexa*. Los tubos liberianos se disponen también en filas, encontrándose los tabiques de separación perforados a modo de cribas; de aquí el nombre de *tubos cribosos* con que asimismo se les conoce: conducen la savia elaborada.

Tejidos de sostén.— El *esclerénquima* está formado por células muertas y sus fibras se encuentran en órganos adultos, mientras que los órganos en crecimiento —p. ej., los tallos jóvenes— obtienen su solidez por medio del *colénquima*, compuesto de células vivas capaces de crecer.



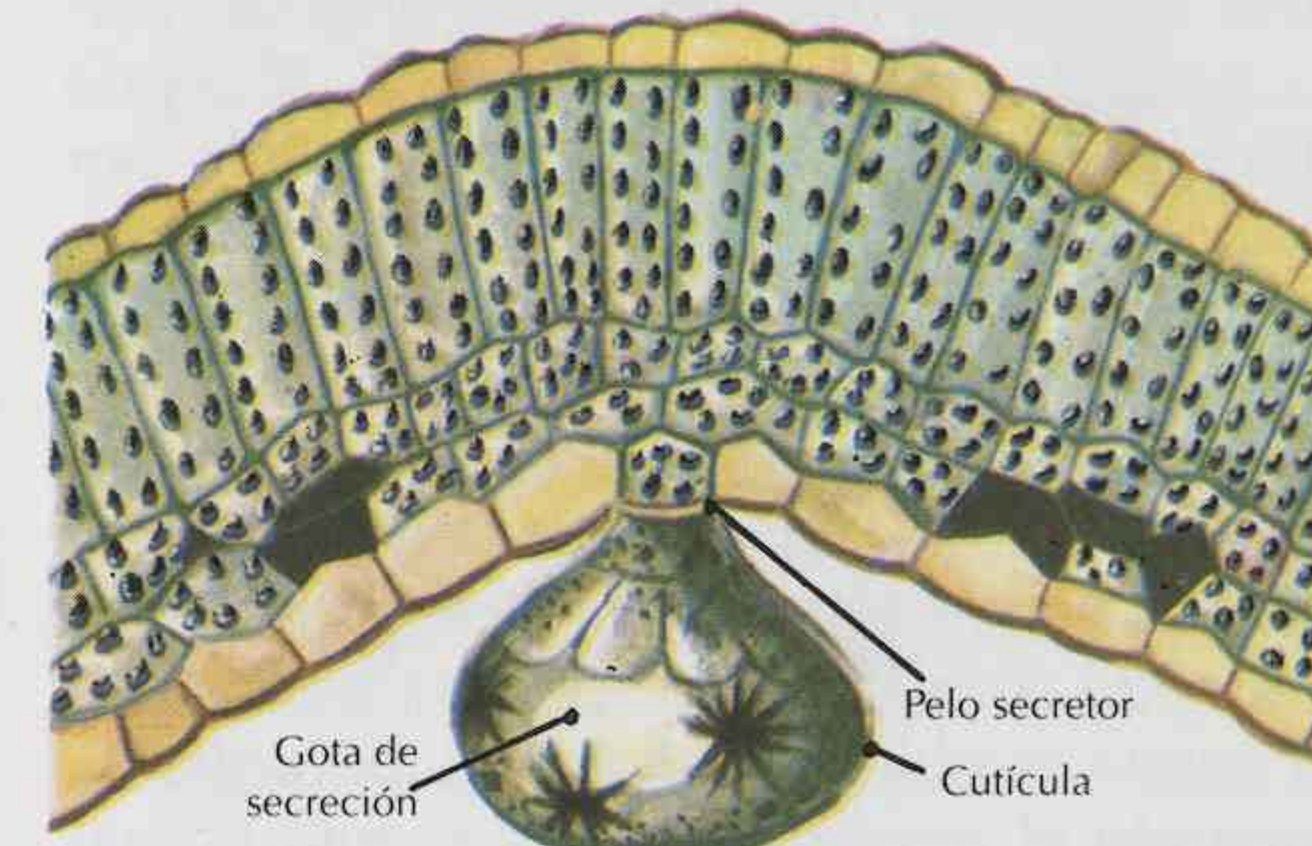
Ápice vegetativo del tallo de una dicotiledónea, formado por células meristemáticas.



Corte de una hoja mostrando el parénquima clorofílico.



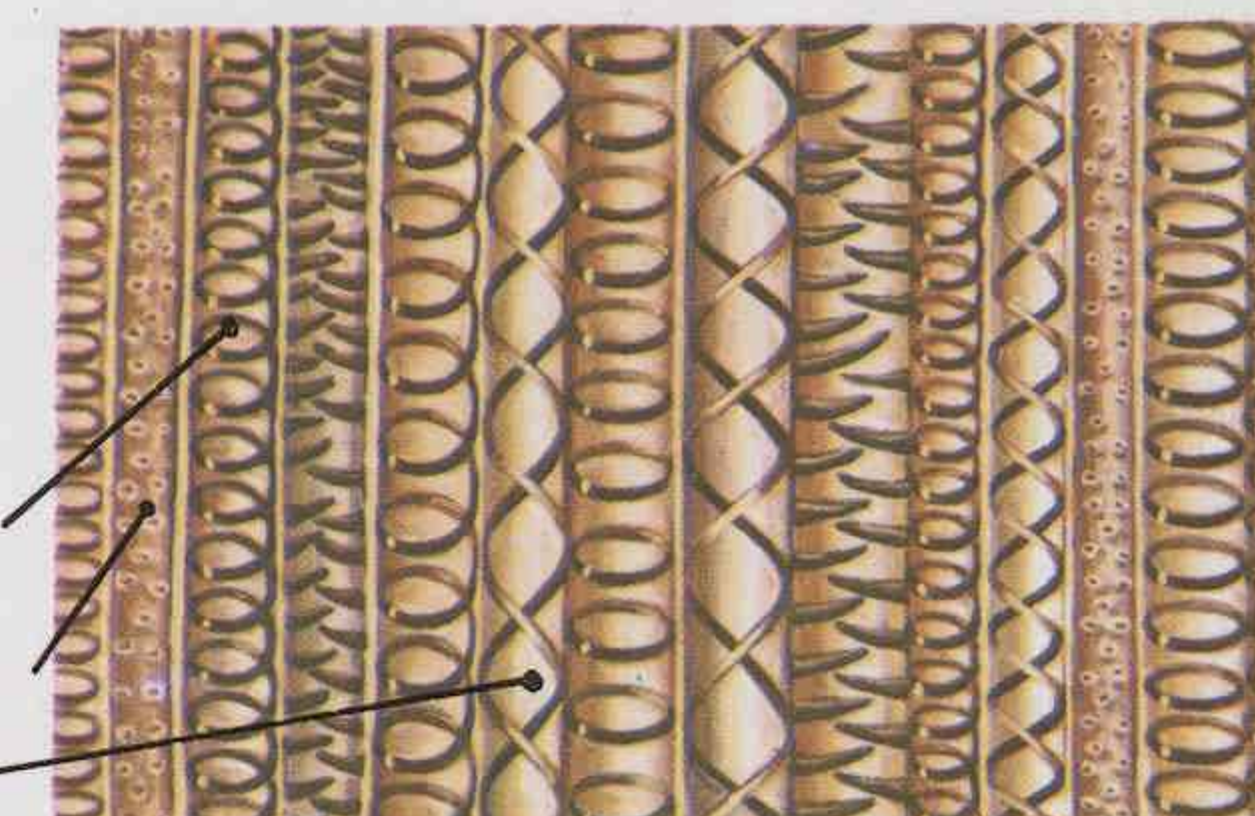
Tejido epidérmico del envés de la hoja de belladona con estomas con cloroplastos.



Dentro de los tejidos secretores está el pelo secretor, como puede verse en este corte transversal de la hoja de la menta.



Sección longitudinal del tejido criboso del tallo de la vid (*Vitis vinifera*).



Tejido vascular o leñoso, mostrando diversos vasos con reforzamientos de lignina.



Colénquima del tallo de *Salvia sclarea*, en corte longitudinal.



Esclerénquima de la quina, formado por fibras.

**MUSCULO ESTRIADO,
RED NERVIOSA, SANGRE**

Fibras musculares.— Hay dos clases de células o *fibras musculares*, tanto por su aspecto como por su fisiología. Una de ellas, de *fibra lisa*, está caracterizada por su forma de huso y por la posesión de un núcleo ovoide en el centro. Su citoplasma se encuentra diferenciado en gran número de fibrillas longitudinales y contráctiles, llamadas *miofibrillas*. La contracción de las fibras lisas es lenta e involuntaria en general, encontrándose en los órganos de la vida vegetativa, como los intestinos y las arterias. Forma músculos de color rosa pálido. El tejido muscular de *fibra estriada* está formado por fibras larguísimas, con numerosos núcleos pegados a la membrana, y de unas fibrillas estriadas transversalmente, constando de zonas claras, llamadas bandas I, y de otras oscuras, denominadas bandas A. En el centro de la banda A hay otra de tono claro, determinada como zona H. La fibra estriada se encuentra también en el músculo cardíaco, formando el *miocardio*, y representa la mayor parte de las paredes del corazón.

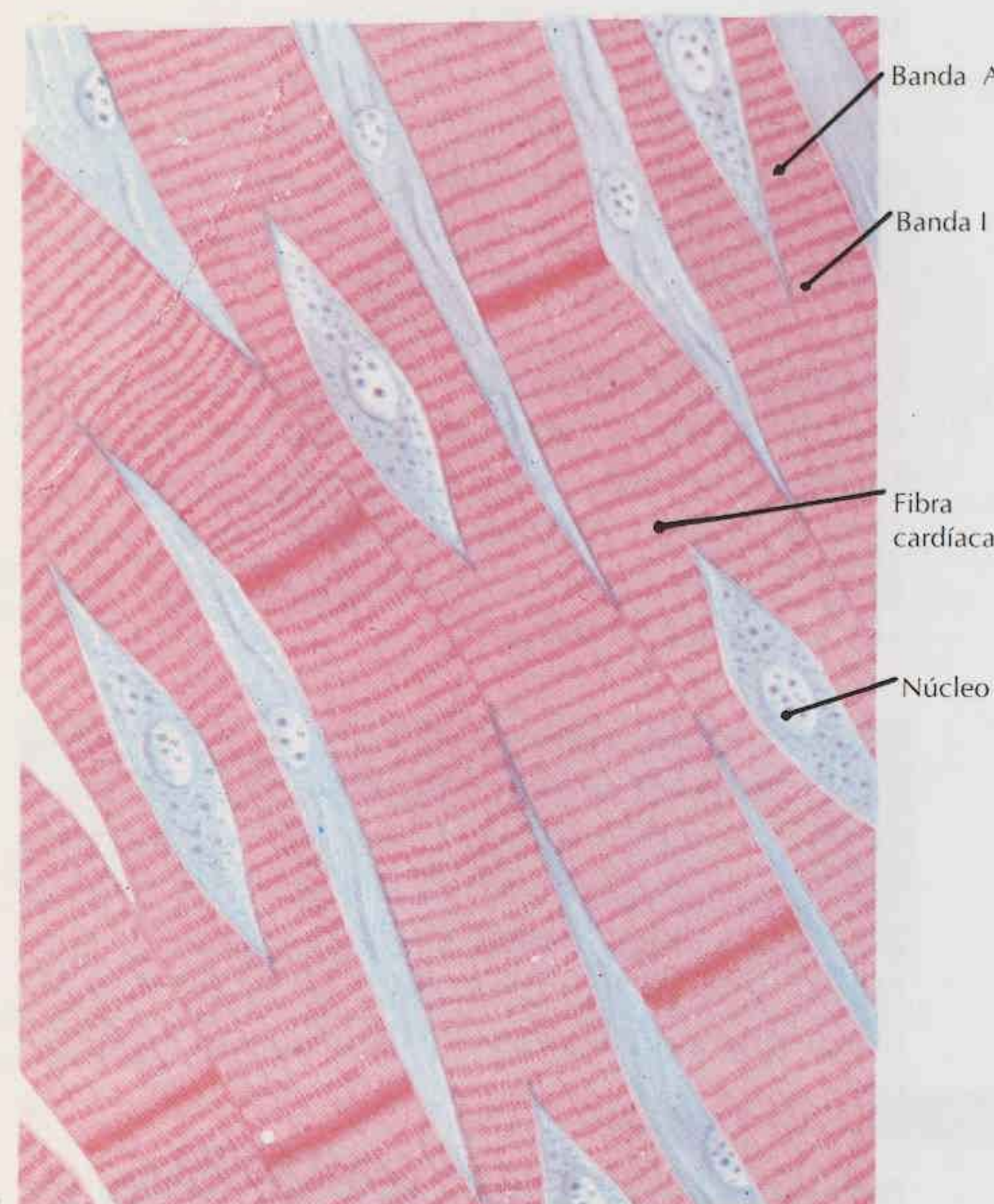
Tejido nervioso.— La relación del organismo animal con el medio ambiente queda asegurada por unas células indeformables, diferenciadas para la transmisión de impulsos, y dedicadas, además, a comunicar los órganos entre sí. Estas células forman el *tejido nervioso*. En ellas se distingue el cuerpo con un núcleo y unas prolongaciones. El citoplasma se encuentra constituido por gran número de fibrillas llamadas *neurofibrillas*, y las prolongaciones son de dos clases: unas, denominadas prolongaciones protoplasmáticas o *dendritas*, están ramificadas en árbol y tienen un contorno espinoso, mientras que otra prolongación única, que recibe el nombre de *axón*, larga y de contorno liso, da ramas en ángulo recto llamadas *colaterales*. Las células nerviosas en los animales inferiores están diseminadas por todo el cuerpo y forman como unas mallas (caso de la hidra de agua dulce), mientras que en los animales superiores hay una concentración de los elementos nerviosos, dando lugar al *encéfalo* y a la *médula espinal*. En la lámina E puede ver el lector una preparación de tejido nervioso.

Sangre.— En la sangre de los animales ver-

tebrados, la más evolucionada de todas, se distingue un medio líquido, el *plasma*, en el que están incluidos unos glóbulos formados por células y compuestos de *hematíes*, *leucocitos* y *plaquetas*. El plasma sanguíneo es una solución acuosa de varias sustancias, entre las que merecen atención las sales minerales, la glucosa y las proteínas. Las proteínas del *plasma sanguíneo* son el *fibrinógeno*, la *seroalbúmina* y las *seroglobulinas*. Al *fibrinógeno*, soluble en el plasma, se debe la coagulabilidad de la sangre, por transformarse en *fibrina*, que es insoluble. La seroalbúmina y las seroglobulinas no coagulan espontáneamente. Entre las seroglobulinas están los anticuerpos producidos por el organismo ante las invasiones microbianas. *Suero sanguíneo* es el plasma sin fibrinógeno, por lo cual es incoagulable. Los *glóbulos rojos* o *hematíes* son células que en el hombre y demás mamíferos han perdido el núcleo. Tienen forma de lente biconcava en el hombre, y su protoplasma está impregnado de *hemoglobina*, pigmento que da el color rojo a la sangre. En un mm³ de sangre hay 5 millones de hematíes. Los glóbulos blancos o *leucocitos* son células con núcleo bien diferenciado y, en el hombre, mayores que los hematíes. Hay unos 7.000 por mm³. Están dotados de movimiento ameboide y algunos realizan la *fagocitosis*, consistente en la captura de microorganismos o cuerpos extraños que invaden el organismo. Dentro de los glóbulos blancos se distinguen dos series: la *agranulosa*, cuyo citoplasma carece de granulaciones y presenta un núcleo redondeado, y la *granulosa*, con núcleo arrosariado y citoplasma con abundantes granulaciones. Por ser exclusivos de la sangre se llaman también *hemoleucocitos* a los componentes de la serie granulosa. Los de la serie agranulosa se encuentran en la linfa (*linfocitos*), en el tejido conjuntivo y en muchos órganos del cuerpo.

Los linfocitos son de pequeño tamaño (6-8µ de diámetro) y poseen un grueso núcleo y poco citoplasma, comprendiendo un 25 % de todos los glóbulos blancos; no fagocitan. A esta serie agranulosa pertenecen también los *macrófagos* (más de 15µ de diámetro), los cuales son fagocitos: en la sangre son poco abundantes (3-5 % del total de glóbulos blancos), encontrándose también en el tejido conjuntivo, en el hígado y en el

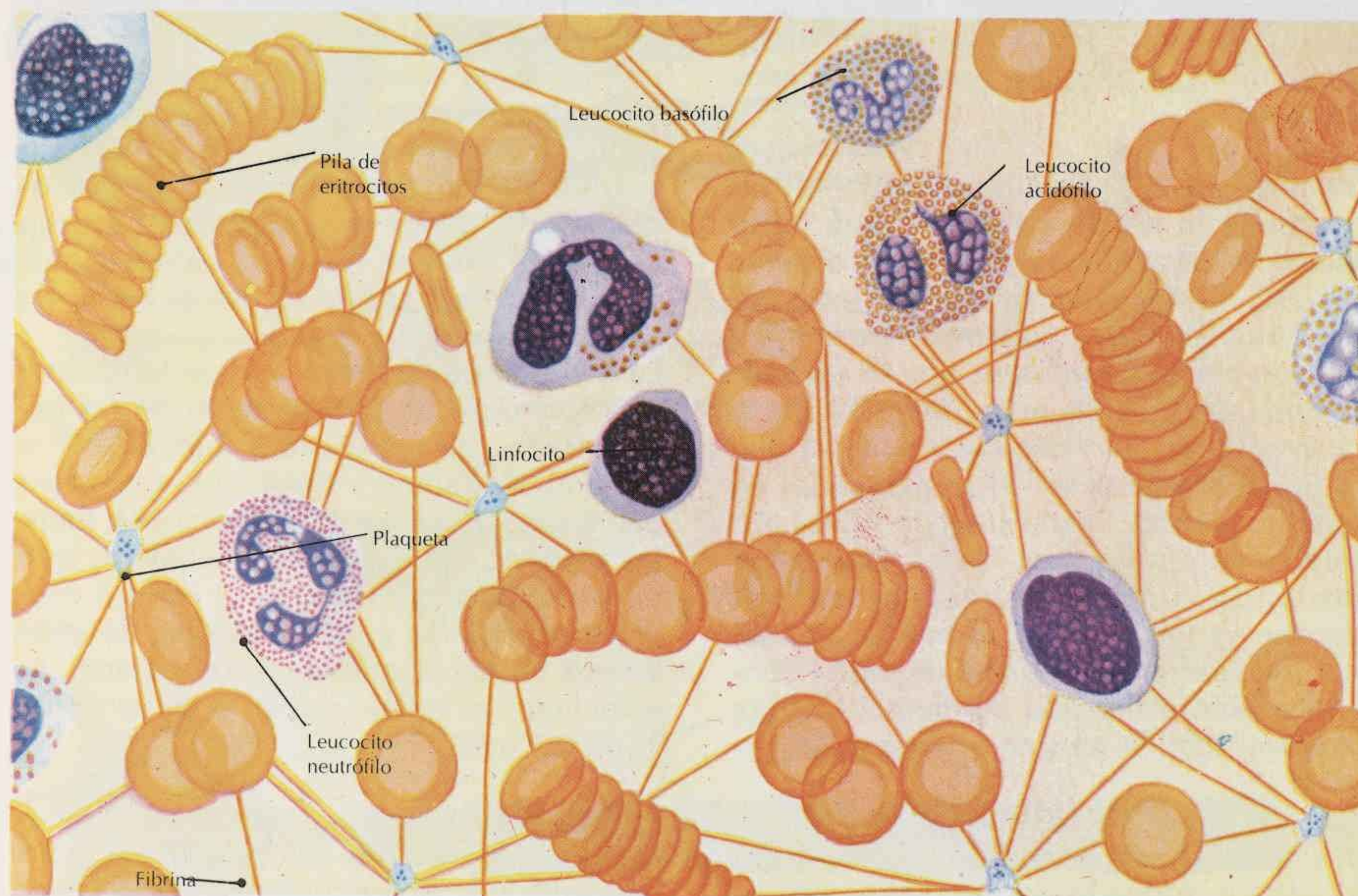
(Concluye en la lámina F/5)



La fibra muscular cardíaca tiene un solo núcleo central, rodeado de citoplasma indiferenciado; éste se fusiona con otras fibras.



Células nerviosas de la hidra en la pared del cuerpo.



Frotis de sangre humana mostrando sus componentes.

MÚSCULOS Y NERVIOS. LA NEURONA

El tejido muscular da lugar a órganos voluminosos llamados *músculos*. En la formación de las masas musculares entran otros tejidos, como el conjuntivo, e incluso nervios y vasos sanguíneos. Una combinación de tejidos puede colaborar a la formación de una unidad funcional superior, de morfología definida, y a la que se llama *órgano*.

Estructura de los músculos.— Las fibras musculares están unidas entre sí mediante tejido conjuntivo. Si hacemos un corte transversal en un músculo esquelético alargado, veremos que toda la superficie externa se halla recubierta por una vaina conjuntiva llamada *perimísio externo*, la cual, en sus extremos, forma los tendones, por medio de los que se inserta en los huesos. De esta vaina parten tabiques hacia el interior del músculo que delimitan haces musculares separados por el *perimísio interno*; finalmente, cada fibra muscular está envuelta por una red conjuntiva finísima. Junto con el perimísio penetran en el músculo vasos sanguíneos y nervios.

Los nervios.— Si se dilacera bajo el microscopio un nervio ciático de rana introducido en agua salada al 9 %, se observa que está formado por unidades filamentosas llamadas *fibras nerviosas*. Cada fibra tiene un eje, el *cilindroeje*, que se encuentra rodeado por un manguito. Un corte transversal del nervio ciático muestra que las fibras nerviosas se hallan agrupadas en haces, rodeados, cada uno de ellos, por tejido conjuntivo. Los haces, separados por tejido conjuntivo graso, forman, al reunirse varios de ellos, el nervio, el cual está rodeado por una vaina de tejido conjuntivo fibroso llamado *perineuro*. La fibra nerviosa finaliza en una *arborización terminal*.

Hay dos clases de fibras nerviosas: 1.º *fibras mielínicas*, caracterizadas por tener el cilindroeje rodeado de una vaina constituida por un fosfolípido, la *mielina*, que da el color blanco marcado a los nervios. La mielina aparece constreñida de trecho en trecho debido a las *células de Schwann*, que forman otra vaina citoplasmática ex-

terna, la *vaina de Schwann*, que recubre la vaina mielínica. 2.º *Fibras amielínicas*, caracterizadas por tener el cilindroeje rodeado únicamente por la vaina de Schwann: son características de los nervios del sistema simpático.

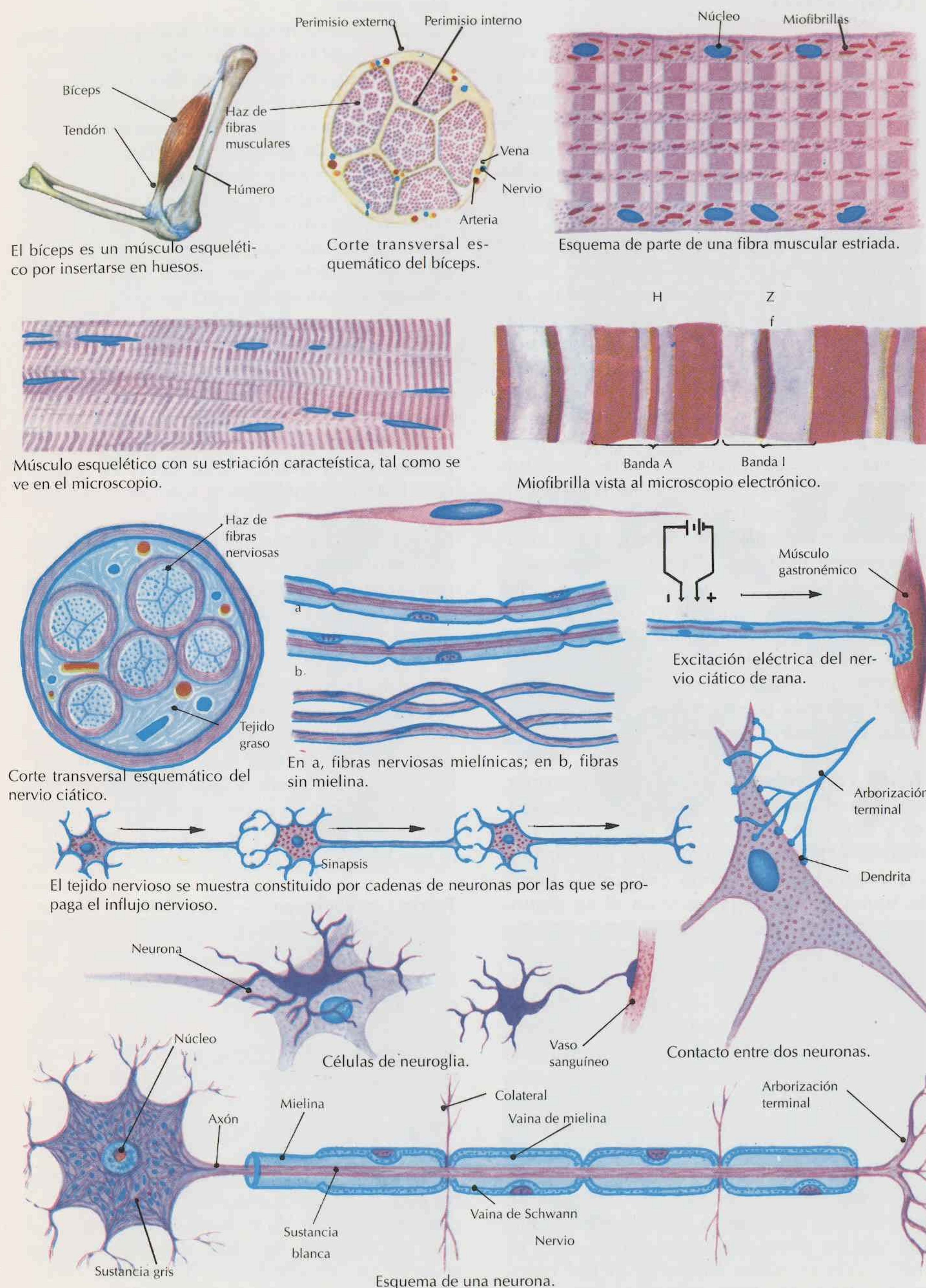
La sustancia blanca.— Si se hace un corte en los centros nerviosos (cerebro, cerebelo, médula espinal), se observa que la sustancia blanca está formada de fibras mielínicas —de aquí su color blanco—, pero sin vaina de Schwann.

La sustancia gris.— Un corte transversal de la médula espinal muestra que la parte central se halla compuesta por una sustancia de color gris, mientras que la periferia tiene un color blanco. Observada la sustancia gris al microscopio, se la ve constituida por *células nerviosas* con sus dendritas.

Noción de neurona.— Se ha visto que las células nerviosas y las fibras nerviosas no son más que dos partes de un mismo elemento, la neurona. Se llama *neurona*, pues, a esta célula particularísima que consta de un cuerpo celular, de dendritas generalmente cortas y ramificadas y de un axón a menudo muy largo, con colaterales y arborización terminal. Fuera de la sustancia gris, donde se encuentra el cuerpo celular, el axón se rodea de vainas, transformándose en una de las *fibras nerviosas* de un nervio.

La neurona puede tener 2 m de longitud y más (piénsese en la inervación de las extremidades de los grandes mamíferos), y después de Ramón y Cajal se la considera como unidad anatómica y funcional. Entre las neuronas se establecen contactos que constituyen una *sinapsis*. El influjo nervioso se propaga a una velocidad de unos 90 m/s en los mamíferos. En el caracol, la velocidad del influjo, o corriente nerviosa, es de 0,5 m/s.

La neuroglia.— En los centros nerviosos, los espacios entre las células y fibras están ocupados por un tejido de sostén especial: la *neuroglia*, formada por células pequeñas a las que se atribuye papel de nutrición del tejido nervioso. Las células de Schwann de las fibras nerviosas desempeñan una análoga misión.



TEJIDOS EPITELIAL Y DE TIPO CONJUNTIVO

Tejido epitelial. — Desde el punto de vista morfológico, el tejido epitelial se caracteriza por estar formado por células en contacto unas con otras, y, desde el punto de vista fisiológico, el tejido epitelial tiene como misión recubrir una superficie, bien externa, como en el caso de la piel, o interna, como ocurre en la cavidad intestinal, modificándose a veces en el sentido glandular y adoptando una función secretora. Según la disposición y forma de sus células, podemos distinguir: 1.º *Epitelio de células planas*, caracterizado porque sus células son aplanadas. Pueden disponerse formando una sola capa u ordenándose en varias capas o estratos, como en la parte externa de la piel, donde originan un *epitelio tegumentario*. 2.º *Epitelio con chapa*, constituido por una sola capa de células prismáticas y situado en el intestino. 3.º *Epitelio vibrátil*, con la peculiaridad de que sus células poseen pestañas vibrátiles. Se encuentra en la tráquea, donde hay también células mucosas que mantienen húmeda la superficie. 4.º *Epitelio glandular*, cuya finalidad es la de elaborar determinados productos que vierte al exterior (*glándula abierta*) o a la propia sangre (*glándula cerrada* o de *secreción interna*; *endocrina*).

Tejido conjuntivo. — Los tejidos de sostén, que son el *conjuntivo*, *adiposo*, *cartilaginoso* y *óseo*, se caracterizan por poseer elementos celulares separados por una sustancia intercelular. El *tejido conjuntivo* forma la trama de los órganos y en él se distingue, aparte de las células, una sustancia intercelular con fibras entrecruzadas. Entre las células del tejido conjuntivo están los *fibroblastos*, que son las células conjuntivas típicas. Son de tamaño grande, a veces en forma de estrella, y a ellas se atribuye la formación de las fibras conjuntivas. Los *macrófagos* son células con expansiones pseudopódicas y citoplasma con granulación: en las inflamaciones poseen movimientos ameboides y gran actividad fagocitaria. Las *células cebadas* se caracterizan por tener el citoplasma con gruesos gránulos que se tiñen metacromáticamente, es decir, con un color diferente al del colorante utilizado. Hay, además, *linfocitos*, que no son otros que los de la sangre y lin-

fa extravasados, de tamaño pequeño y núcleo grande.

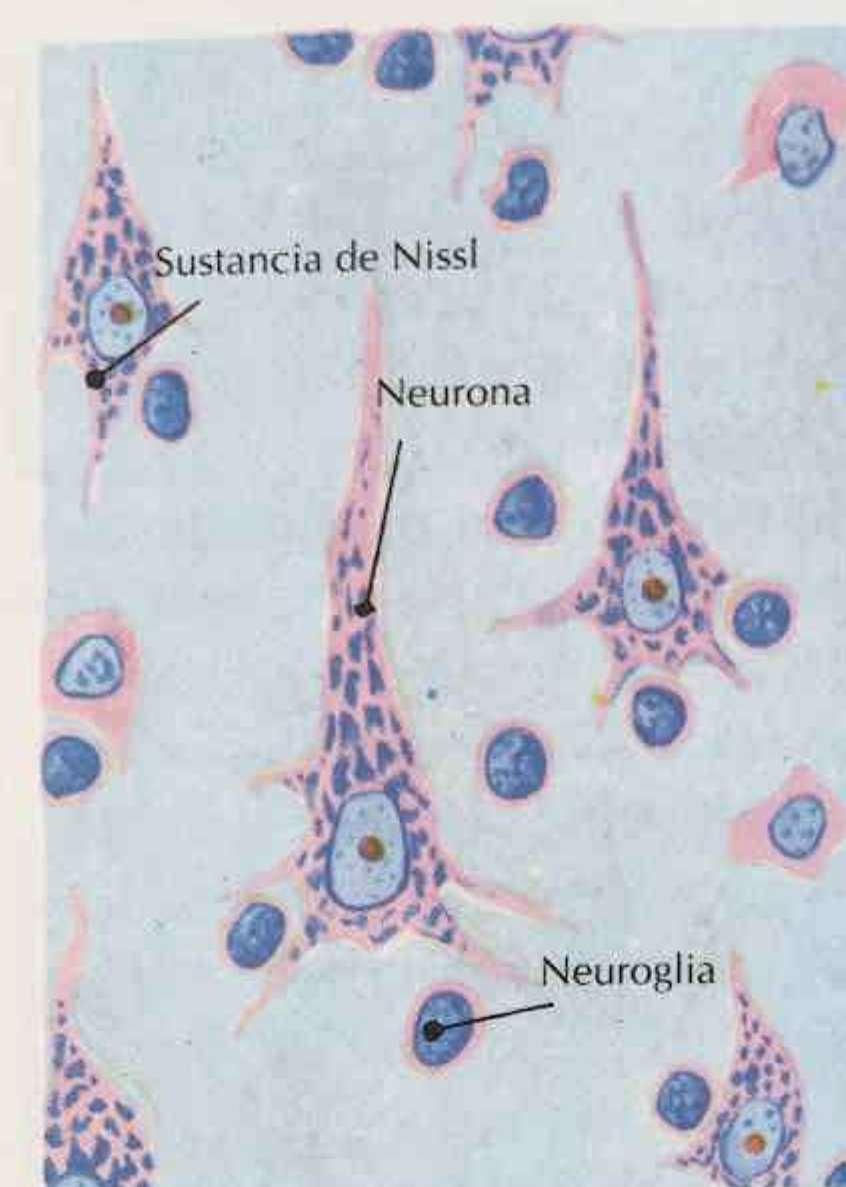
Las *fibras conjuntivas* son de dos clases: *colágenas* y *elásticas*. Las *fibras colágenas* constituyen anchas y flexibles bandas que recorren la sustancia intercelular; están formadas por la escleroproteína *colágena*, que por cocción da gelatina. Las *fibras elásticas* son generalmente muy finas, y recorren también la sustancia intercelular, a la que confieren elasticidad. El tejido conjuntivo desempeña, además, un papel muy importante en la defensa del organismo frente a los agentes patógenos extraños.

Tejido adiposo. — El *tejido adiposo* puede considerarse como una variedad del tejido conjuntivo. Las células fijas son los *adipoblastos*; carecen de prolongaciones y almacenan grasa. Al principio los adipoblastos poseen en su interior unas gotas de grasa, que luego se fusionan y forman una gota mayor en el centro de la célula.

En el tejido adiposo se distinguen todos los elementos celulares e intercelulares del conjuntivo. En la caña, o diáfisis de los huesos, se encuentra una variedad de tejido adiposo que forma el *tuétano* o *médula amarilla*, y que en los extremos, o epífisis de los huesos, origina la *médula roja*. Bajo la piel, el tejido adiposo se presenta en forma de capa continua llamada *panículo adiposo*, la cual está muy desarrollada en las personas obesas, y que en el cerdo da lugar al *tocino*. El panículo adiposo, aparte de ser una gran reserva de grasa, representa una protección muy eficaz contra el frío.

Tejido cartilaginoso. — Sus células se llaman *condroblastos* y están alojadas en unos huecos o *cápsulas cartilaginosas*. La sustancia intercelular es sólida y elástica, apreciándose en ella haces colágenos y fibras elásticas.

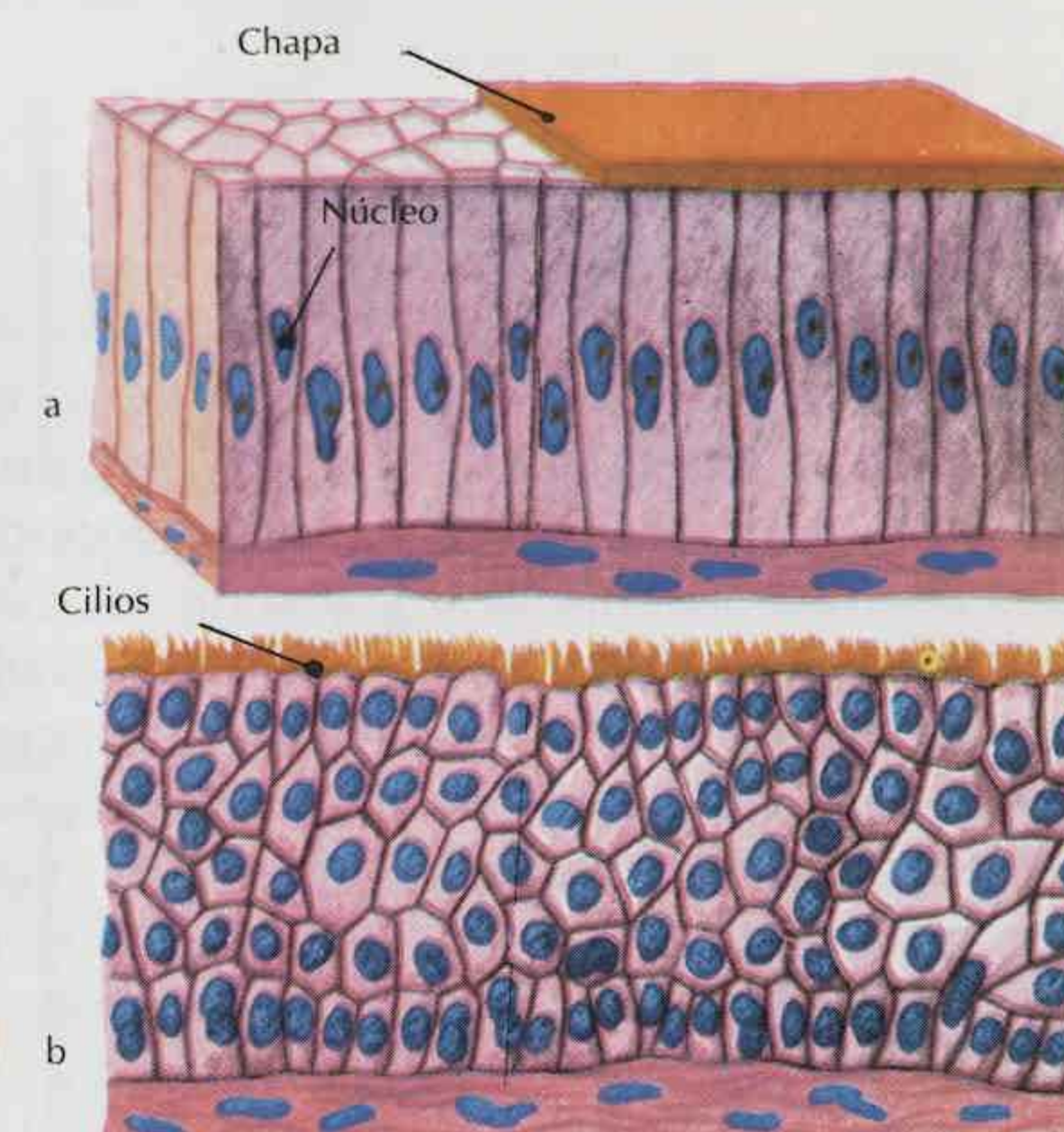
Tejido óseo. — Sus células son los *osteoblastos* y están alojadas en *lagunas óseas*. La sustancia intercelular tiene haces conjuntivos y una materia interfibrilar petrificada por carbonato y fosfato cálcico. Toda la masa ósea se encuentra recorrida por una red de canales llamados *conductos de Havers*, por donde pasan los vasos sanguíneos y nervios. Las lagunas óseas se hallan situadas alrededor de los conductos de Havers, relacionándose con ellos, como también entre sí, por medio de *los conductos calcóforos*.



Tejido nervioso con las neuronas mostrando sustancia de Nissl en su citoplasma y rodeadas de neuroglia.



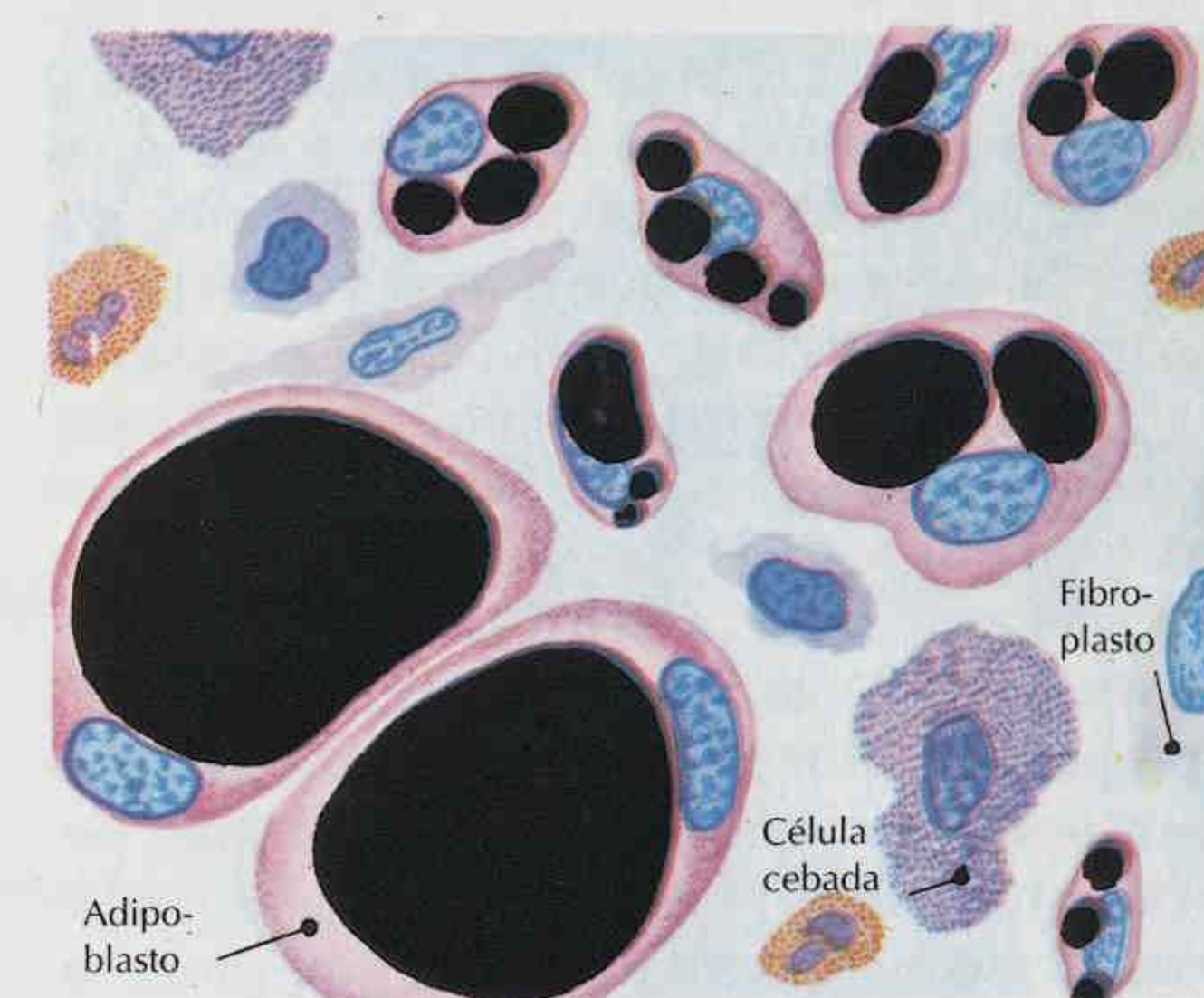
Epitelio de células planas.



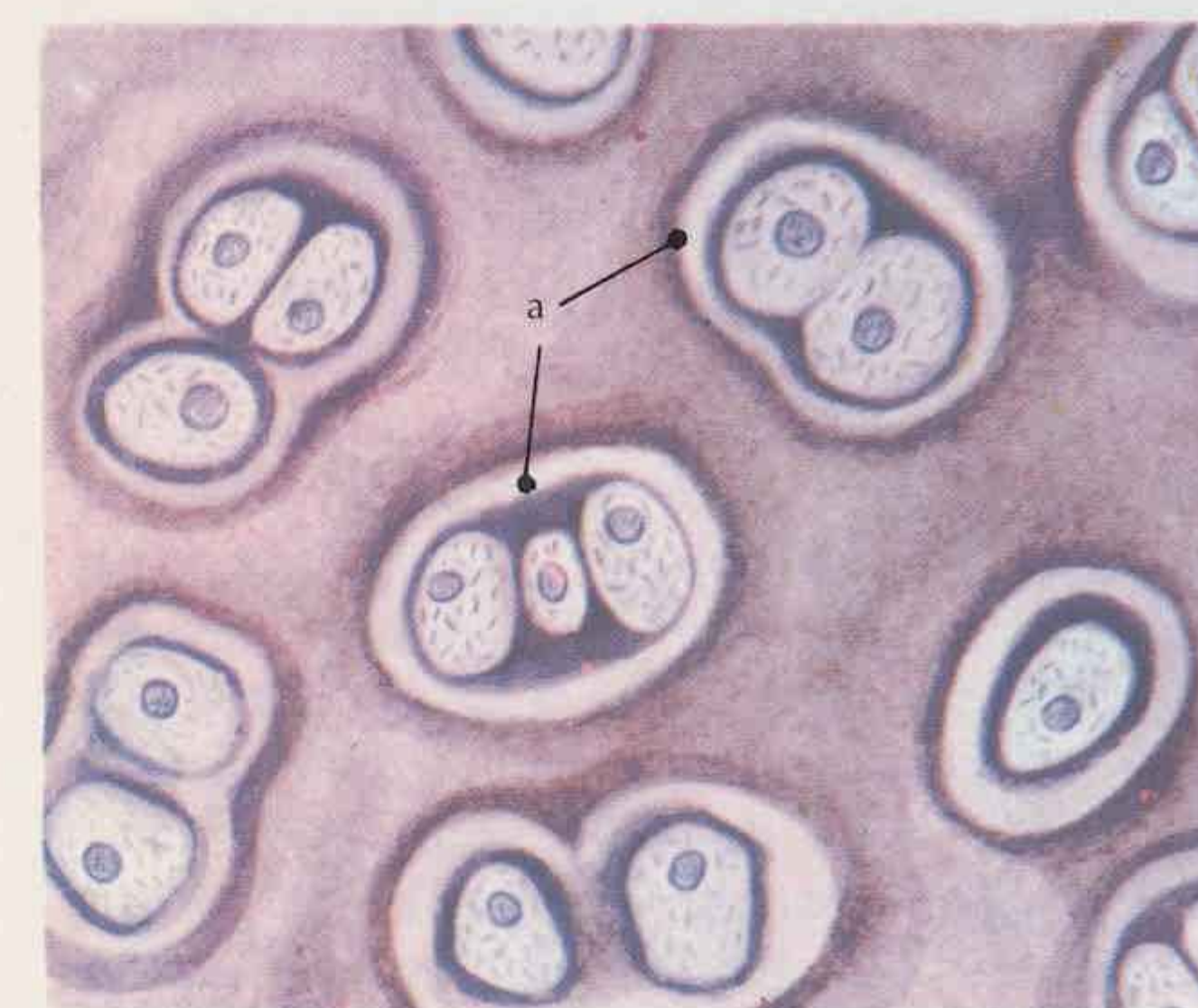
En a, epitelio cilíndrico en chapa, del intestino de ratón; en b, epitelio ciliado de la laringe de un embrión humano.



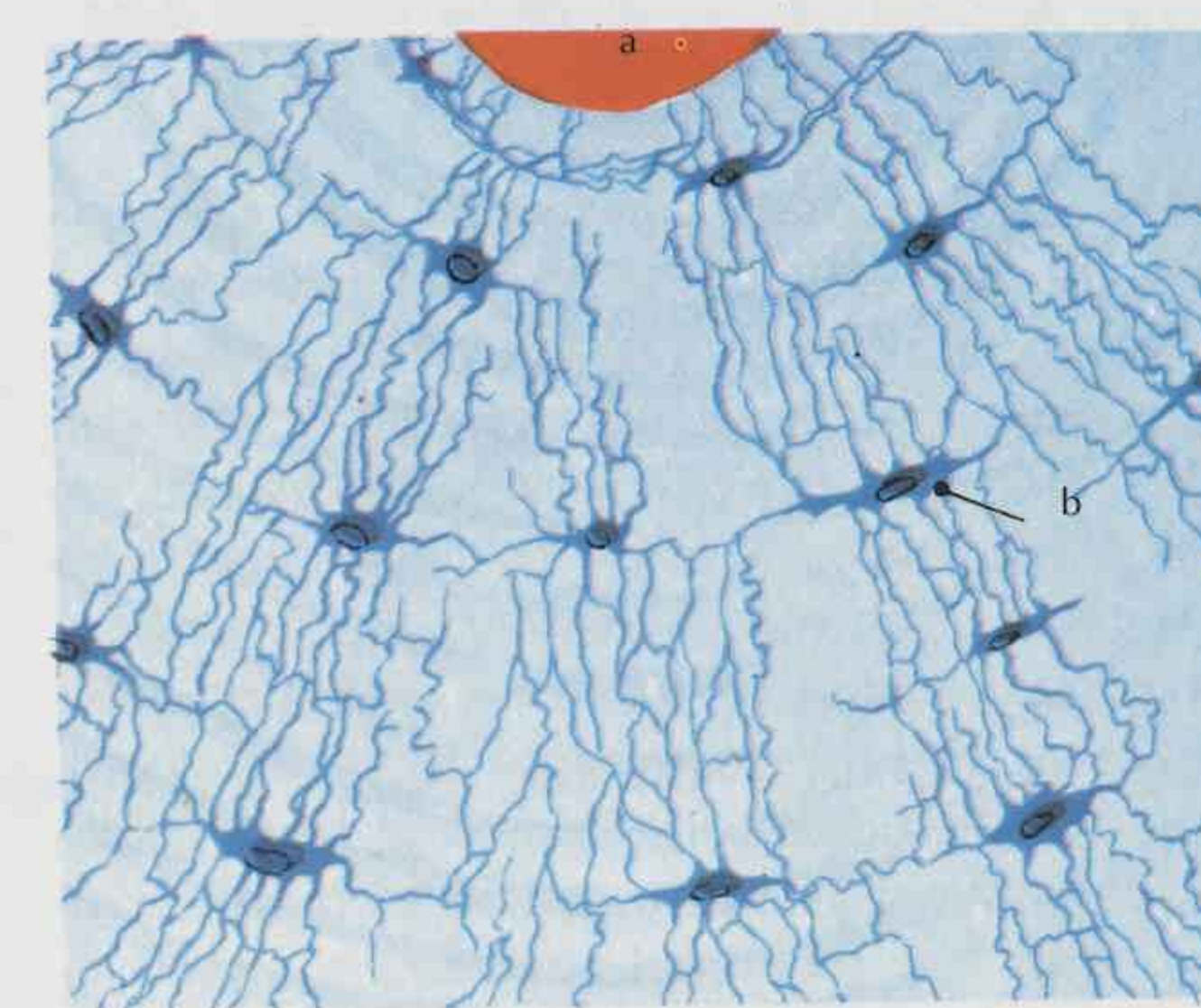
Tejido conjuntivo de rata: a, fibroblasto; b, macrófago; c, célula cebada; d, leucocito eosinófilo; e, colágena; f, fibras elásticas.



Tejido adiposo con la grasa coloreada de negro por el ácido ósmico. Hay varios adipoblastos en desarrollo.



Cartílago hialino de ternero mostrando las cápsulas cartilaginosas (a) que encierran uno o varios condroblastos.



Tejido óseo humano: a, conducto de Havers; b, laguna ósea; c, conductos calcóforos.

Nutrición de los organismos

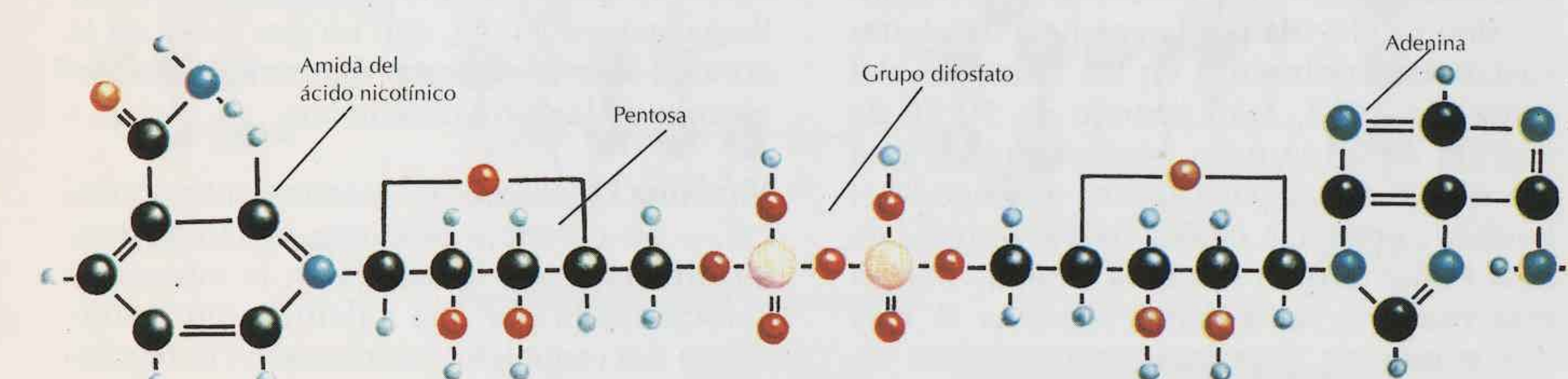
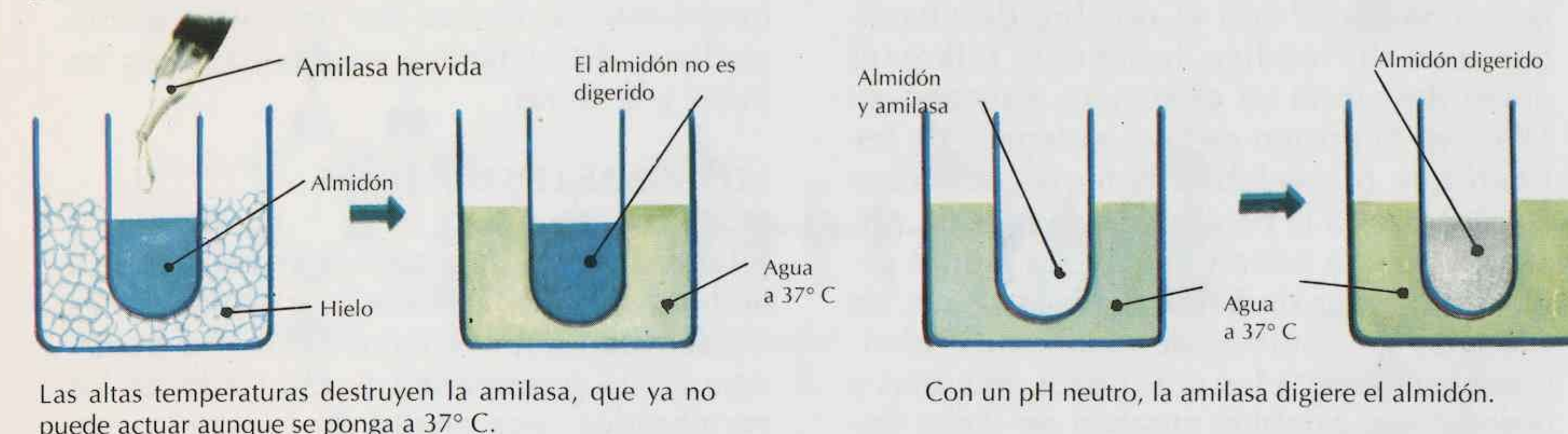
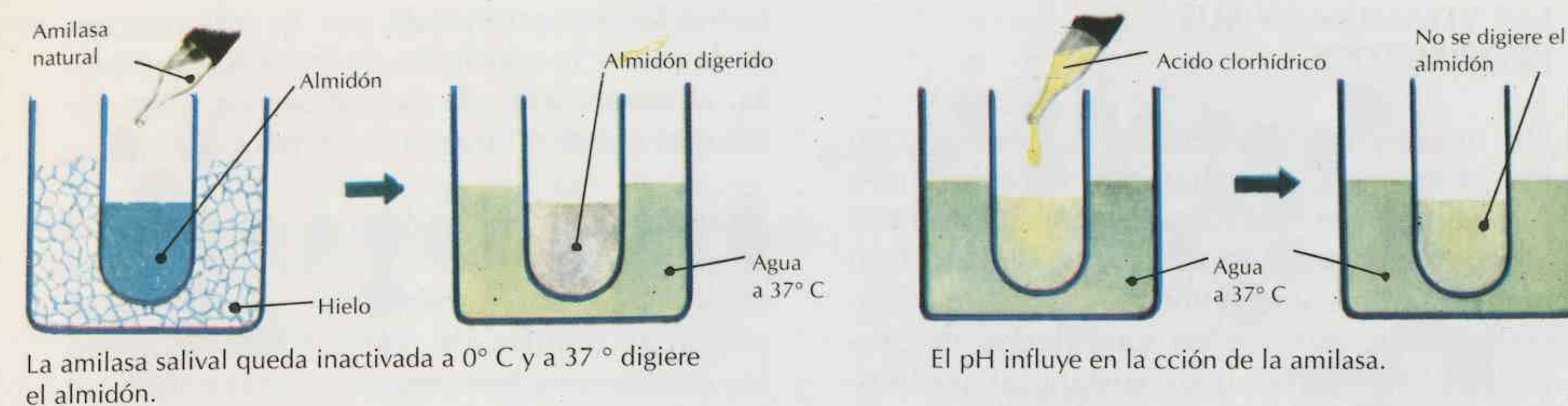
ENZIMAS Y SUS PROPIEDADES

Los enzimas. — La mayor parte de las reacciones químicas que tienen lugar en la célula se hacen posibles gracias a los *enzimas* o *fermentos*, que son biocatalizadores producidos por las mismas células y gracias a los cuales aumenta considerablemente la velocidad de las reacciones químicas. Las transformaciones que sufren los alimentos en el tubo digestivo se deben a la acción de los *enzimas digestivos* que se vierten en dicho tubo. Del mismo modo que los catalizadores inorgánicos, los enzimas participan en las reacciones químicas, pero no en los productos finales de la reacción. La *especificidad* es un carácter importante de la acción enzimática, en virtud de la cual cada fermento sólo actúa sobre una sustancia (*sustrato*) o grupo de sustancias afines; así, la *sacarasa* únicamente actúa sobre la *sacarosa*. En cambio, otros enzimas tienen especificidad para un *enlace químico* determinado, propio de todo un conjunto de sustancias, como las *proteasas*, que hidrolizan las *proteínas* actuando sobre el *enlace peptídico*. Los enzimas no son los que inician la reacción, sino los activadores de ella, la cual puede realizarse sin su intervención, aunque entonces con lentitud extrema; así, la saponificación se da espontáneamente en las grasas neutras, pero en proporción muy débil; en cambio, la lipasa acelera extraordinariamente el proceso. La acción enzimática, como corresponde a un catalizador, es reversible; por eso, la maltasa, que desdobla la maltosa en dos moléculas de glucosa, puede sintetizar maltosa a partir de la glucosa.

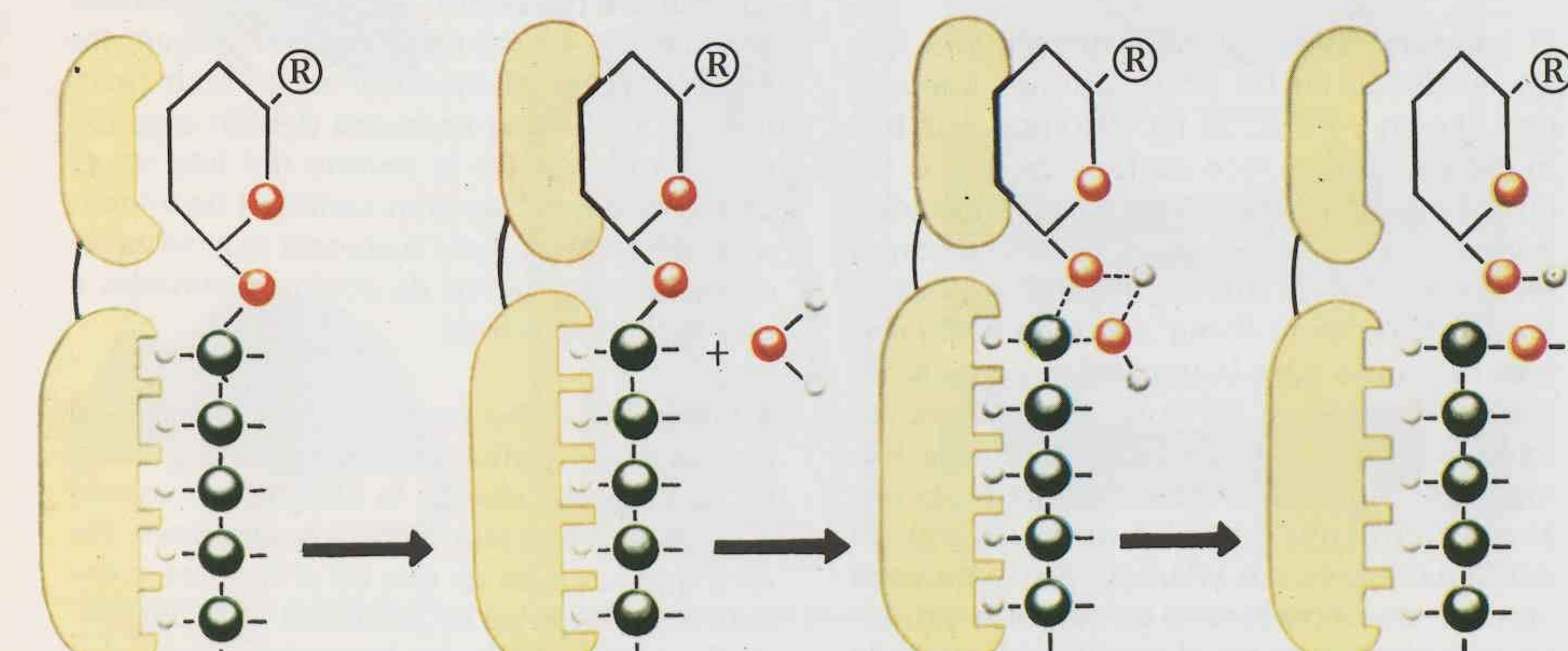
Propiedades fisicoquímicas de los enzimas. — Son solubles en el agua y se precipitan por el alcohol, comportándose como las sustancias proteicas. Cada fermento tiene un pH óptimo de actividad. La pepsina del estómago ha de actuar en medio ácido y la tripsina del jugo pancreático en medio alcalino. La temperatura también influye sobre las acciones enzimáticas; las bajas temperaturas las inactivan, pero no las destruyen. Conforme se aumenta la temperatura crece su actividad hasta un valor óptimo, a partir del cual decrece y, finalmente, a los 65° C, se destruyen. Los enzimas de los animales homotermos (aves y mamíferos) tienen su óptimo entre los 36° y los 41° C.

Constitución de los enzimas. — Son sustancias proteicas complejas y, según Willstätter, estarían formadas por una parte coloidal proteica llamada *apoenzima* o *apofermento* y por un grupo activo llamado *coenzima* o *cofermento*. Los cofermentos son los que determinan la *especificidad* de la acción enzimática y su estructura química es la que señala si el enzima actúa como una deshidrogenasa, descarboxilasa, etc. La especificidad de sustrato está indicada por el apofermento. La naturaleza y el modo de acción de los cofermentos empiezan ya a conocerse, como el de la coenzima o codehidrasa I, llamado *difosfopiridinnucleótido* (DPN); este cofermento interviene en la glicolisis, etc. Un mismo cofermento puede unirse a diversos apofermentos (constituyendo entonces diferentes enzimas) para originar la misma acción en diversos sustratos. Muchos cofermentos están compuestos por vitaminas.

Clasificación. — Por su modo de acción, se distinguen dos grandes grupos: enzimas *hidrolíticas* y *respiratorias*. Los enzimas hidrolíticos descomponen por hidrólisis los principios inmediatos en sus unidades elementales constitucionales; así, las *carbohidrasas* desdoblan los polisacáridos en monosacáridos, como la *amilasa* (desdobla el almidón en maltosa). Las *lipasas* actúan sobre las grasas, dando glicerina y ácidos grasos. Las *proteasas* hidrolizan las proteínas, como la *pepsina* del estómago, que da peptonas, la *tripsina* del jugo pancreático y la *erepsina* del jugo intestinal, que dan péptidos y aminoácidos, respectivamente. Los *enzimas respiratorios* son oxidantes fundamentalmente y están encargados de catalizar los procesos respiratorios celulares; entre ellos se encuentran las *deshidrogenasas*, que desprenden pares de átomos de hidrógeno de las sustancias orgánicas, y los *enzimas activadores de oxígeno*, que desdoblan en dos átomos la molécula de oxígeno, pudiéndose entonces combinar con el hidrógeno para dar agua. Las *descarboxilasas* separan grupos carboxílicos de los ácidos orgánicos en forma de CO₂. Una de las deshidrogenasas hoy mejor conocidas consiste en el denominado *fermento oxidante amarillo de Warburg* (enzima flavínica), el cual toma dos átomos de hidrógeno procedentes del sustrato y los transfiere al oxígeno.



Estructura molecular del DPN (difosfopiridinnucleótido), llamado coenzima I. Es coenzima de deshidrogenasas.



Mecanismo de una hidrólisis, indicando el modo de la acción enzimática; superficie que encaja con la del sustrato; de aquí su especificidad.

LAS VITAMINAS Y SUS PROPIEDADES

Un organismo alimentado solamente con los principios inmediatos necesarios para proveer sus necesidades energéticas muestra al poco tiempo síntomas que demuestran que esta alimentación no es suficiente, siendo además, aunque en cantidades inapreciables, necesarias unas sustancias particulares conocidas con el nombre de *vitaminas*. Fue un médico holandés, Eijkman, quien descubrió su existencia. Cuidaba en 1897, en la prisión de Java, enfermos de *beriberi* que presentaban síntomas nerviosos conducentes a la parálisis y a la muerte. Alimentando con arroz y su cáscara a unas gallinas afectadas de beriberi, observó que los síntomas de parálisis desaparecían. Administró esta dieta a los prisioneros enfermos y observó que también curaban de dicha dolencia. Llegó entonces a la conclusión de que el beriberi no era enfermedad contagiosa, sino producida por la carencia de ciertas sustancias contenidas en las cubiertas del arroz. En 1912, Funk extrajo de 50 kg de cáscara de arroz unos centigramos de una mezcla de sustancias capaces de impedir el beriberi, entre las cuales había aminos; de aquí el nombre de *vitamina* (amina vital). A esta vitamina se la llamó *vitamina B*. Hay dos grupos de vitaminas: unas solubles en agua (*hidrosolubles*) y otras solubles en los lípidos (*liposolubles*).

VITAMINAS HIDROSOLUBLES

El **complejo vitamínico B** representa el factor estudiado en las observaciones iniciales de Eijkman y Funk. Se ha visto que está formado por unas doce sustancias, entre las cuales están la *vitamina B₁*, que es el factor *antineurítico* o *antiberibérico*. Se encuentra en la yema de los huevos, hígado, espinacas y coles; hoy se la llama *aneurina* o *tiamina* y es necesaria para la integridad y funcionamiento del sistema nervioso. Es asimismo de interés la *vitamina B₂* (riboflavina), que forma parte del cofermento de numerosas enzimas (fermento amarillo de Warburg). El *ácido pantoténico* o *vitamina Bw* se muestra también de importancia; su carencia produce perturbaciones en el crecimiento y en la digestión y bronconeumonías. La *vitamina PP* (antipelagrosa) forma parte de las hidrogenasas; su carencia acarrea la *pelagra*, en-

fermedad caracterizada por la inflamación de la piel y la aparición de manchas cutáneas, acompañadas de perturbaciones nerviosas que pueden llevar a la demencia.

Vitamina C (ácido ascórbico).— Su carencia produce el *escorbuto*, temible enfermedad de los antiguos navegantes. Los pacientes presentan palidez de rostro e hinchazón en las encías con hemorragias, produciéndose finalmente la muerte por desfallecimiento cardíaco. Esta vitamina es abundante en las frutas y verduras.

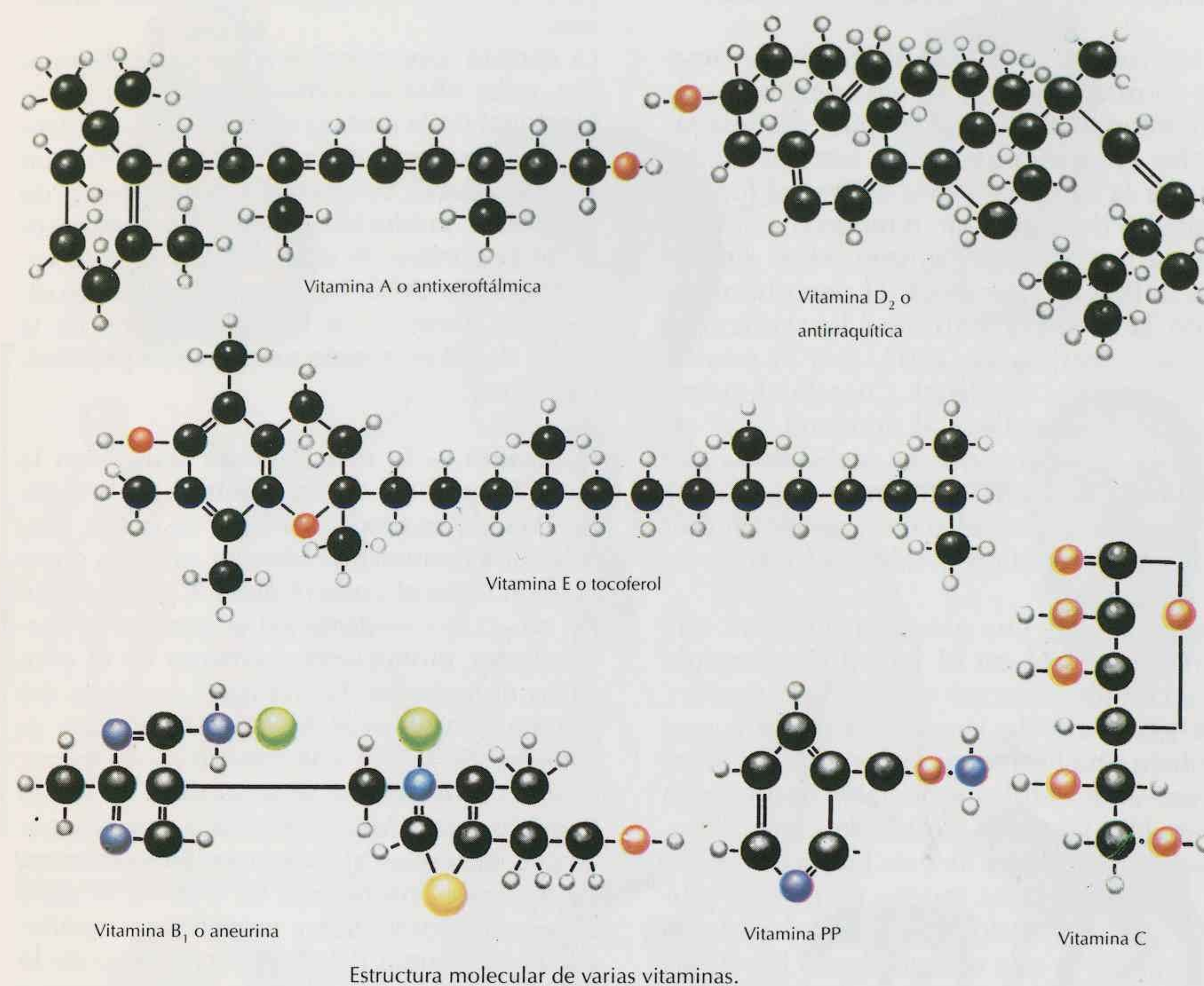
VITAMINAS LIPOSOLUBLES

Vitamina A.— Abunda en la manteca, yema de huevo, leche, zanahorias y espinacas. Es un derivado del caroteno, el cual se considera como *provitamina A*. El hígado de los vertebrados, por medio de la *carotinasa*, desdobra los carotenos en vitamina A. Su carencia produce una enfermedad ocular llamada *xeroftalmía*, con ulceraciones en la córnea; interviene esta vitamina en la formación de la *púrpura retiniana*.

Vitamina D (calciferol, vitamina antirraquítica).— Su carencia ocasiona el raquitismo, enfermedad muy difundida en la infancia y caracterizada por una calcificación insuficiente del esqueleto; interviene en la regulación del calcio y fósforo en la sangre. La luz solar tiene una acción antirraquítica en el organismo humano.

Vitamina E (tocoferol, vitamina de la anties-terilidad).— En las ratas machos asegura las funciones reproductoras, y en las ratas hembras, el embarazo se frustra debido a su carencia, originando la muerte del feto en el útero materno. Hay gran cantidad de vitamina E en la jalea real, sustancia que sirve de alimento a las larvas de abejas destinadas a convertirse en reinas.

Vitamina K.— Su carencia produce hemorragias en el polluelo, con retraso sensible de la coagulación de la sangre; en estado natural se encuentra en la col y tomates. Parece que la causa de que en el hombre y demás mamíferos no se produzca esta avitaminosis se debe a que las bacterias intestinales resultan ser capaces de sintetizar la vitamina K, la cual es abundante en las heces fecales.



Ratones hermanos: a, falta de vitamina A; b, normal.



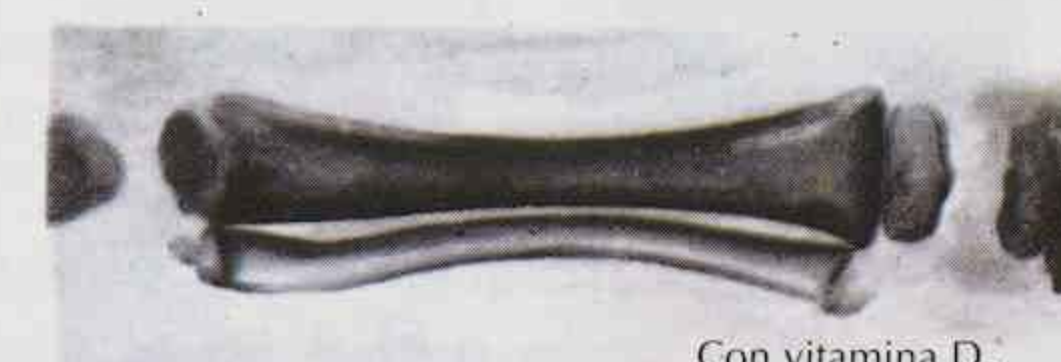
Degeneración muscular por el beriberi.



Las encías en el escorbuto.



Raquitismo



Con vitamina D₂

Radiografías de la pierna de un niño.

GLÁNDULAS DE SECRECIÓN INTERNA

La actividad coordinada de tejidos y órganos corre a cargo del sistema nervioso y de un conjunto de sustancias que, elaboradas por los mismos organismos, son transportadas por la sangre y van a activar el funcionamiento de un órgano o tejido o a amortiguar la actividad del mismo: estas sustancias se llaman *hormonas*. El descubrimiento de la primera hormona lo realizaron Bayliss y Starling en 1902, con el estudio de la *secretina* duodenal. Cuando el quimo estomacal ácido llega al duodeno, éste segrega la secretina, que es reabsorbida por la mucosa duodenal y a través de la sangre va a actuar sobre el páncreas, productor del jugo pancreático, y sobre el hígado.

Páncreas.— Es una glándula digestiva que vierte sus jugos en el intestino (glándula de secreción externa) y, al mismo tiempo, una glándula de secreción interna que produce una hormona, la *insulina*, secretada por unas células especiales que forman acúmulos llamados *islotas de Langerhans*. El papel fisiológico de esta hormona es hacer posible que los tejidos consuman glucosa, disminuyendo la cantidad de ésta en la sangre, a la vez que el hígado la retiene bajo la forma de glucógeno; la falta de insulina es causa de la enfermedad llamada *diabetes*.

Cápsulas suprarrenales.— Son dos órganos situados sobre los riñones. En un corte transversal de las mismas se pone de manifiesto que están formadas por una corteza y una médula; en esta última se origina la *adrenalina*, hormona que prepara al organismo para las situaciones en que es necesario un desgaste de energía muscular, como son las de ataque y defensa. Su acción, antagónica a la de la insulina, es la siguiente:

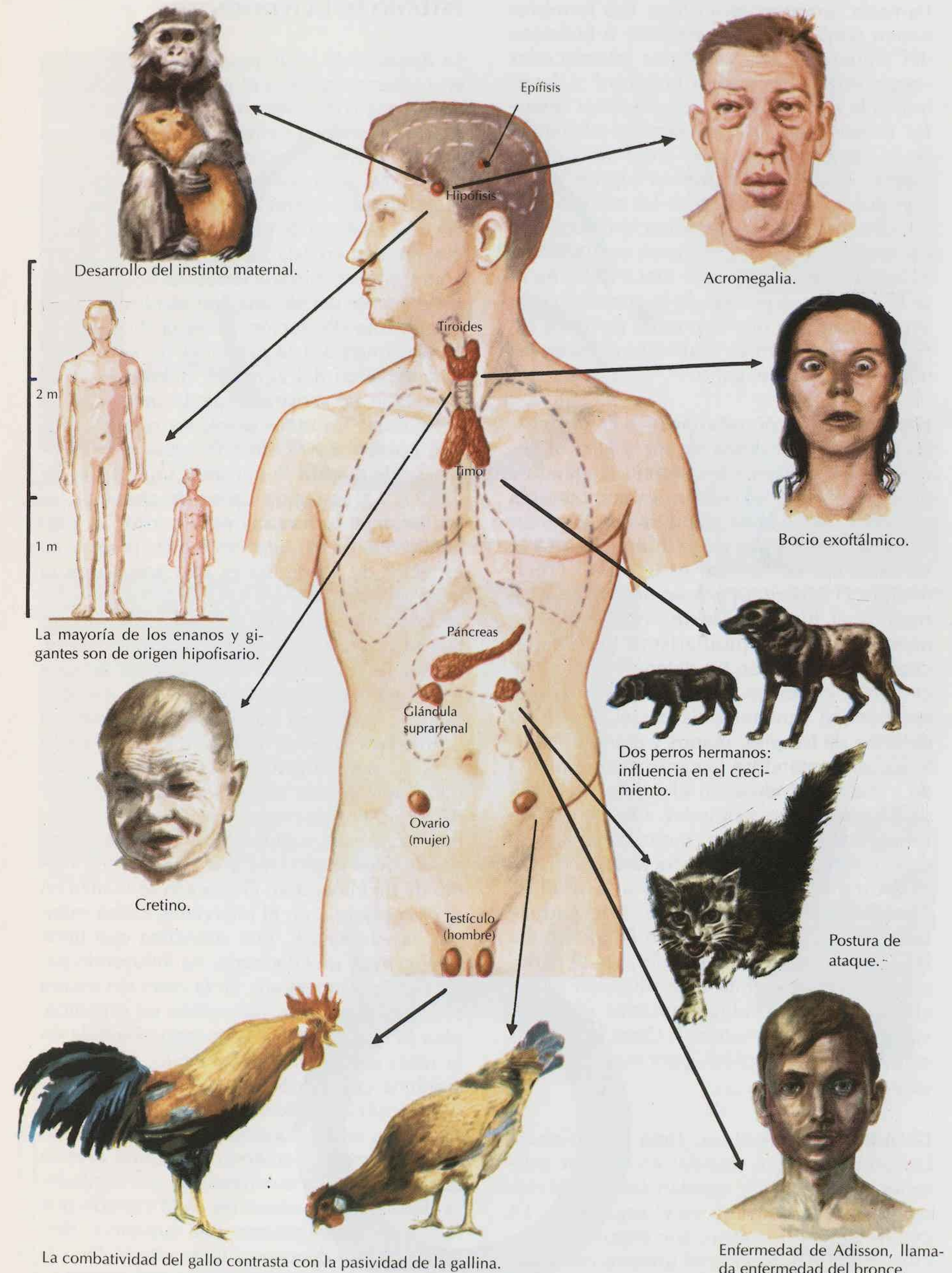
1.º, hace que el hígado vierta glucosa a la sangre; 2.º, dilata los bronquios para que entre más aire en los pulmones; 3.º, aumenta el ritmo cardíaco; 4.º, produce vasoconstricción en la piel y en el aparato digestivo, paralizándose la digestión, al mismo tiempo que hay vasodilatación en los músculos; 5.º, la pupila se dilata. Este es el cuadro típico de la postura de ataque del gato, o de cualquier felino. La actividad fisiológica de la adrenalina se ejerce

ya a la concentración de 1/100.000 millones.

La corteza suprarrenal segrega varias hormonas, entre ellas la *cortisona*. La insuficiencia funcional de la corteza disminuye la resistencia del organismo a las dolencias infecciosas y a las intoxicaciones. La enfermedad de *Adisson* es producida por mal funcionamiento de la corteza de estas glándulas, y se caracteriza por debilidad extrema, trastornos digestivos, aumento de la pigmentación de la piel y desfallecimiento cardíaco; su pronóstico es fatal.

El tiroides.— Es una glándula situada en la parte anterior del cuello y debajo de la laringe; cuando se hincha da lugar al *bocio*. Produce una hormona, la *tiroxina*, en cuya constitución entra el yodo (4 átomos por molécula); su acción fundamental es *acelerar el metabolismo*, produciendo aumento en el consumo de oxígeno. La actividad exaltada del tiroides constituye el *hipertiroidismo*, que es característico de la *enfermedad de Basedow*; en los casos agudos se desarrolla un bocio llamado *exoftálmico*, debido a que los pacientes tienen los glóbulos oculares salientes. La secreción insuficiente de tiroxina se debe al *hipotiroidismo*, que a veces va acompañado de hipertrofia del tejido conjuntivo de la glándula con formación de bocio, aunque con síntomas opuestos al exoftálmico: hay disminución del metabolismo y propensión a la obesidad, la mirada es mortecina y se observa tendencia a la deficiencia mental. También es característica la hinchazón de la piel, sobre todo la del rostro, fenómeno llamado *mixedema*. Si la degeneración del tiroides se produce cuando niño, éste ya no se desarrolla ni física ni mentalmente. En ciertos países montañosos y desérticos, el hipotiroidismo se presenta bajo la forma de un *cretinismo endémico*, con mixedema y con o sin bocio; el cretino es deforme e imbecil. Las causas del desarrollo del cretinismo están relacionadas, entre otras, con la falta de yodo en el agua. La tiroxina controla la metamorfosis en los anfibios.

Hormonas sexuales.— Las glándulas sexuales de los vertebrados (testículos y ovarios) están constituidas por la *gónada*, encargada de la formación de los gametos, y por la *glándula intersticial*, que es la que elabora las hormonas sexuales. La hormona sexual masculina es la *testosterona* y la femenina es la *estrone*,



llamada también *foliculina*. Las hembras tienen también la *progesterona* u hormona del embarazo. Las glándulas intersticiales entran en acción con la pubertad y determinan la formación de los *caracteres sexuales secundarios*, que diferencian el macho de la hembra: así es que, entre otras cualidades, los niños adquieren bigote y voz más grave, mientras que en las niñas se desarrollan los senos. La castración hace que no aparezcan estos caracteres secundarios. Al hombre (eunuco) no le crece la barba ni se le hace grave el tono de la voz, todo esto acompañado de una depresión psíquica especial, que es la que distingue el buey del toro y el capón del gallo.

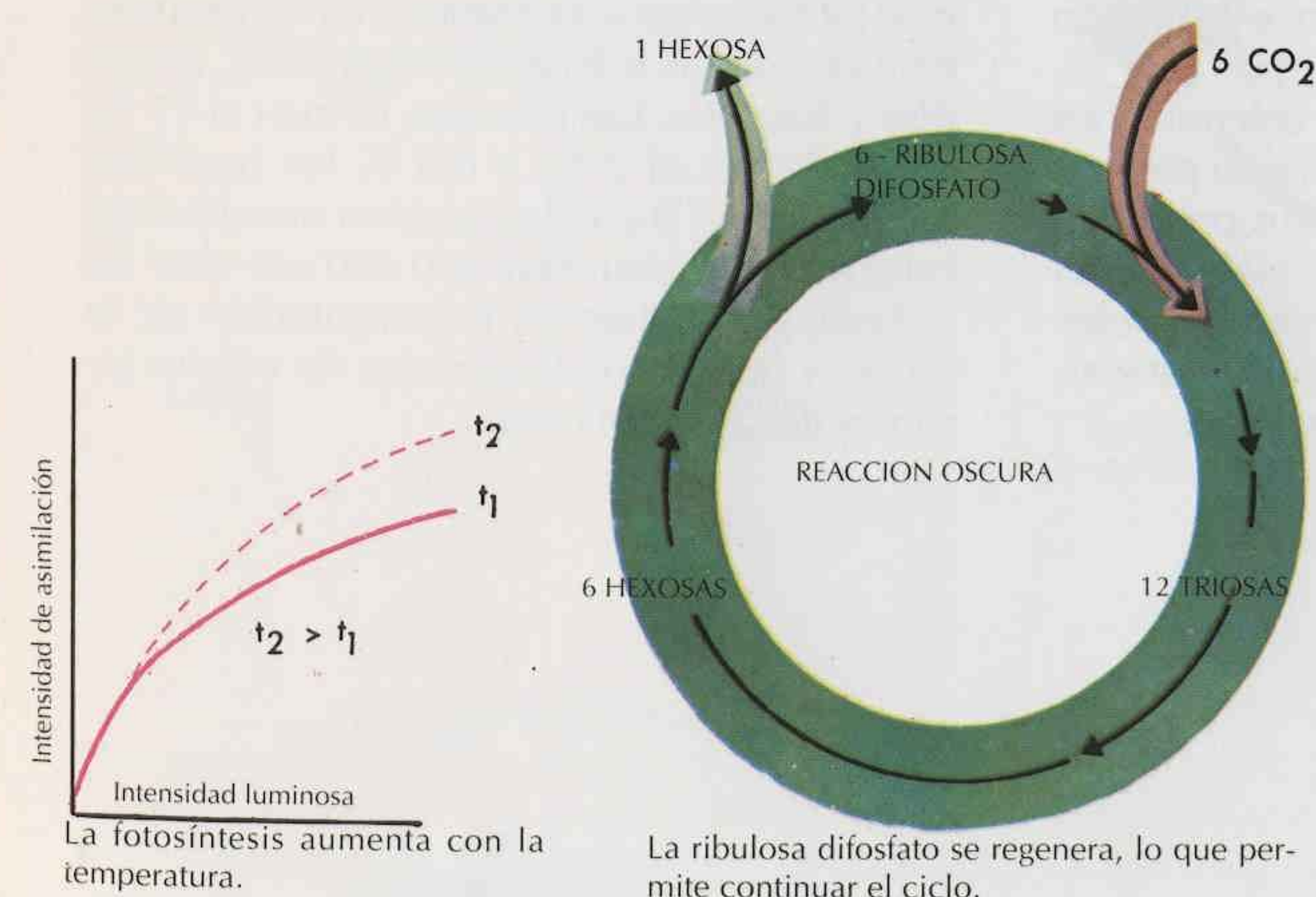
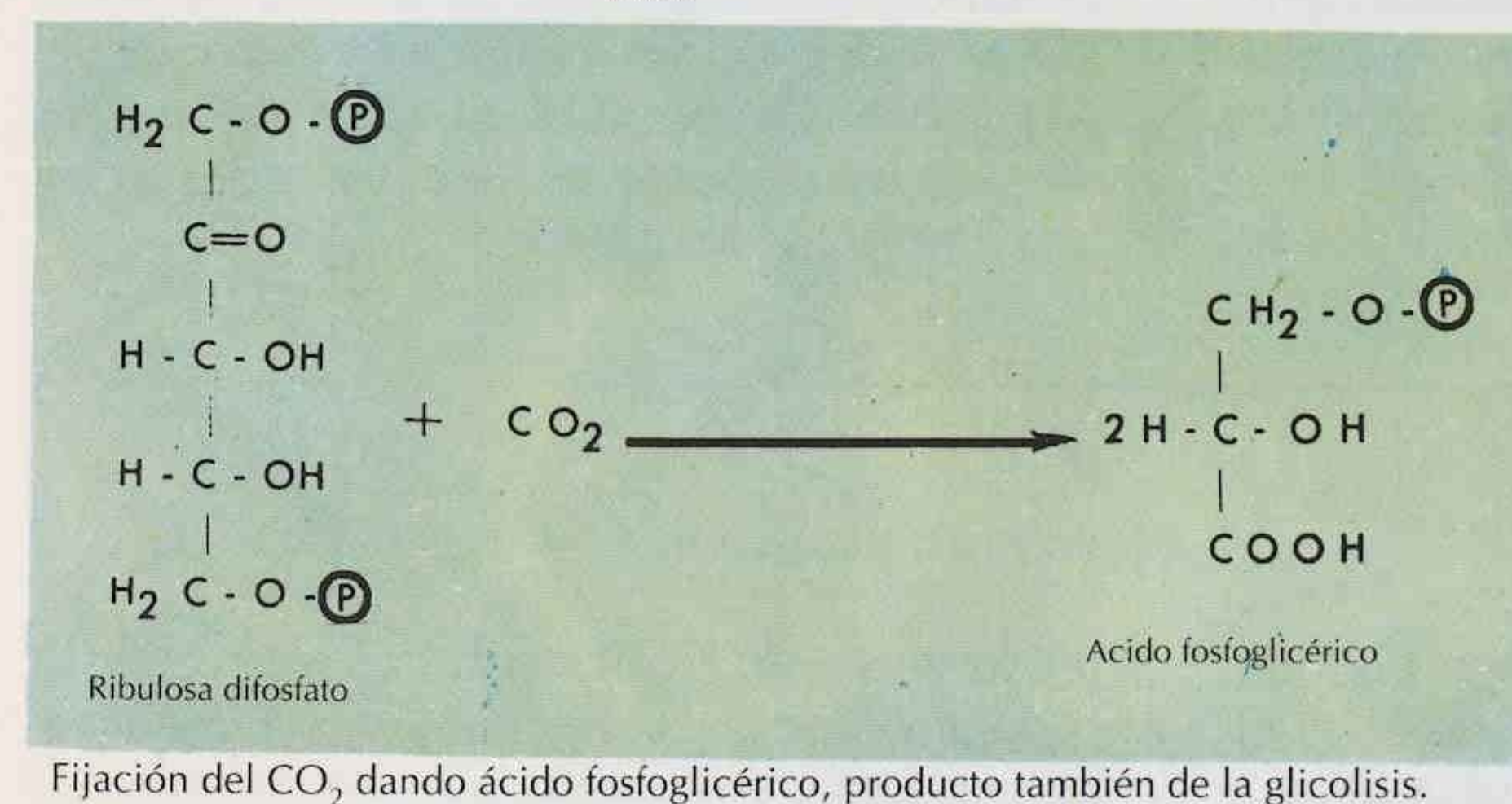
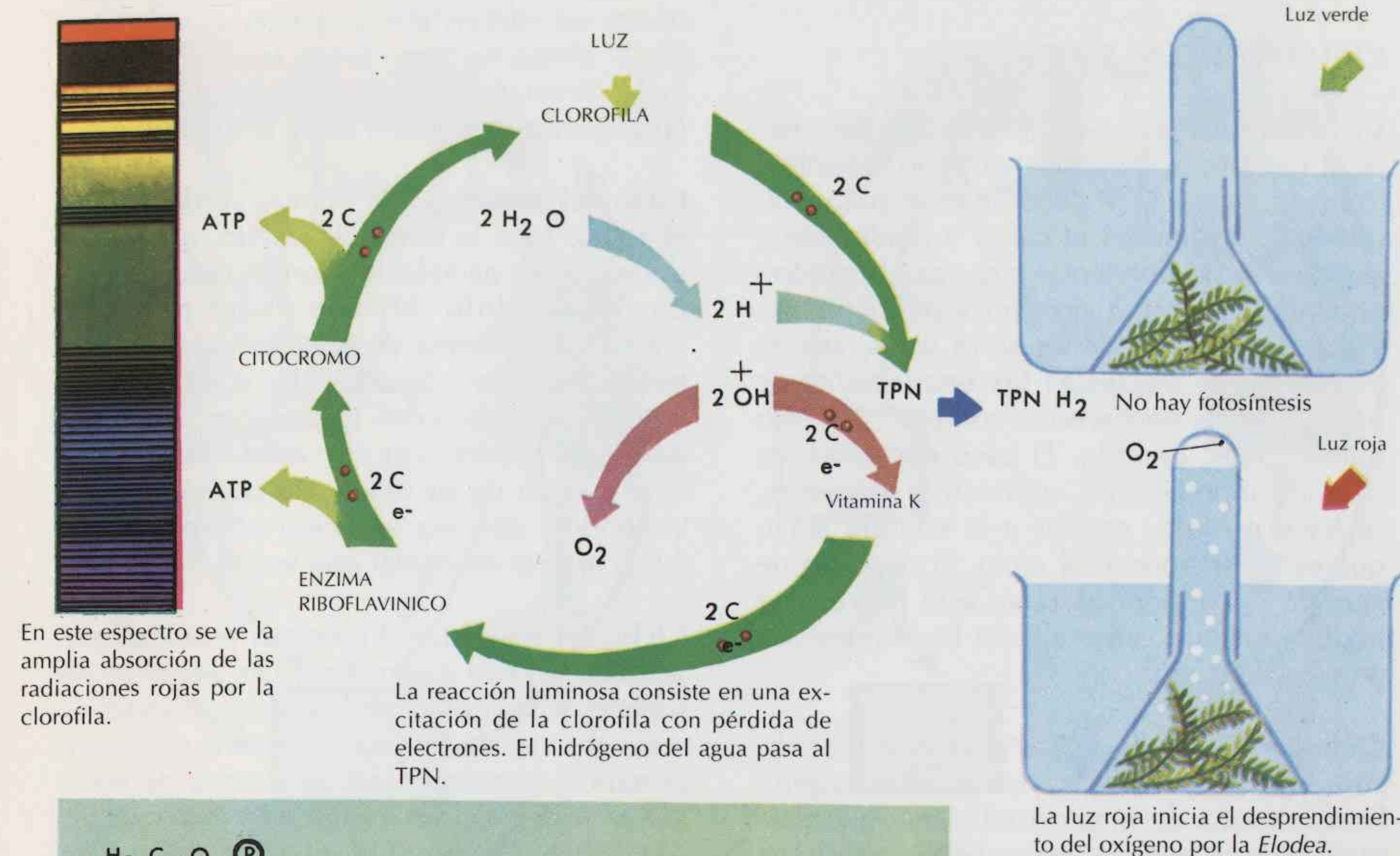
Hipófisis o cuerpo pituitario.— Es un órgano pequeño que descansa sobre la silla turca del hueso esfenoides, siendo la glándula más importante del cuerpo. ya que controla y domina las demás glándulas endocrinas. Entre las hormonas de la hipófisis está la *somatotropina*, la cual estimula el crecimiento. El *hiperpituitarismo* produce gigantismo y el *hipopituitarismo* ocasiona enanismo; si el hiperpituitarismo tiene lugar cuando el individuo ha detenido ya su crecimiento, entonces aparece la *acromegalia*, enfermedad caracterizada por el desarrollo deforme de los pies, manos y mandíbula inferior, presentándose la cara como abotagada y manifestándose en el sujeto regresión de las facultades psíquicas. Otra hormona es la *gonadestimulina A*, que aviva la producción de células reproductoras, y la *gonadestimulina B*, que incita a la producción de hormonas sexuales, iniciándose con ello la pubertad. La *oxitocina* estimula las contracciones del útero durante el parto, y la *prolactina* facilita la producción de leche por las glándulas mamarias y desenvuelve el instinto maternal. Otras hormonas actúan sobre el tiroides, páncreas y corteza suprarrenal.

Glándulas paratiroides, timo y epífisis.— Las primeras están situadas en la parte posterior del tiroides y regulan las proporciones de calcio y fósforo en el organismo. En cuanto al timo y epífisis, son órganos de acción hormonal dudosa; el primero controlaría el crecimiento general y el desarrollo genital, mientras que la epífisis frenaría el desarrollo somático así como el de las glándulas genitales.

ESTUDIO DE LA FOTOSÍNTESIS

La fotosíntesis es un proceso que transforma en carbono orgánico el gas carbónico tomado del aire o disuelto en el agua. La sustancia orgánica primaria formada es la glucosa, que típicamente se almacena bajo la forma de *almidón*. De aquí que en una hoja verde en la que se haya cubierto una parte de su superficie con un trozo de papel metálico no se forme almidón en esta zona tapada; esto puede comprobarse introduciendo la hoja entera, previamente decolorada con alcohol hirviendo, en una disolución de agua de yodo: la parte expuesta a la luz toma un color azul característico del almidón, mientras que la superficie no mostrada queda incolora. De entre todas las radiaciones, las rojas son las que poseen mayor eficacia fotosintética, como se demuestra iluminando una planta de *Elodea*. La sustancia capaz de absorber las radiaciones luminosas es la *clorofila*, pigmento que da el color verde a las plantas; su espectro de absorción es más amplio en la zona del rojo.

En la función clorofílica se han de distinguir dos reacciones. Una es la *reacción luminosa*, en la que la clorofila es excitada por la luz y se rompe la molécula de agua en sus componentes, de manera que el hidrógeno pasa al trifosfopiridinnucleótido (TPN), dando TPNH_2 , y el oxígeno es desprendido, originándose también energía bajo la forma de ATP. En este proceso la clorofila cede electrones, los cuales, siguiendo un circuito cerrado, vuelven finalmente a la clorofila por medio de un citocromo. El proceso se realiza en el cloroplasto y en él interviene, como mínimo, la vitamina K, una coenzima que tiene riboflavina y un citocromo, no influyendo para nada la temperatura. En la *reacción oscura* el gas carbónico es convertido en orgánico, para lo que se utiliza la energía obtenida en la reacción luminosa. Para ello, el CO_2 se combina con la *ribulosa difosfato*, obteniéndose *ácido fosfoglicérico*, producto que ya se encuentra en la glucólisis y que puede originar una hexosa siguiendo el camino inverso de aquélla. En su combinación con la ribulosa difosfato se produce un ciclo cerrado que regenera continuamente esta sustancia, desprendiéndose de manera incesante moléculas de hexosa. La reacción oscura está constituida por un conjunto de reacciones químicas cuya velocidad es *influida por la temperatura*.



La luz verde carece de acción sobre la fotosíntesis; de aquí el color de la clorofila.

CICLOS DEL C, N, S y P

Ciclo del carbono. — La fotosíntesis convierte el carbono mineral en carbono orgánico, formando materia vegetal, la cual pasa después a los animales fitófagos y finalmente a los carnívoros, volviendo otra vez el carbono orgánico a su forma inorgánica por la muerte y descomposición de los seres vivos, siendo entonces las bacterias las encargadas de transformarlo en carbono mineral. El ciclo queda, pues, cerrado. El paso constante de carbono inorgánico a orgánico, y viceversa, se hace posible gracias a la energía solar, que es quien mueve el ciclo. El desgaste de energía ocasionado durante este proceso se traduce en la producción de los fenómenos propios de la vida.

Ciclo del nitrógeno. — Las plantas verdes absorben, junto con el carbono, el nitrógeno bajo la forma de nitratos del suelo, que después constituyen los aminoácidos. Los animales toman este nitrógeno que, con la muerte y putrefacción ocasionada por las

bacterias, se desprende como amoníaco, que es después transformado en nitritos y finalmente en nitratos por las bacterias nitrificantes. El nitrógeno atmosférico también es utilizado directamente por ciertas bacterias, incorporándose de esta manera al ciclo.

Ciclo del azufre. — Las plantas verdes toman el azufre bajo la forma de sulfato, que es reducido en la asimilación, originándose el radical sulfhidrilo -SH que forma parte del aminoácido *cisteína*, presente en todas las proteínas. Así pasa a los animales y, en la putrefacción, las bacterias lo desprenden como *ácido sulfhídrico*. Las bacterias sulfatizantes se encargan de su oxidación posterior, convirtiéndolo otra vez en ácido sulfúrico y sulfato, capaces de iniciar otra vez el ciclo.

Ciclo del fósforo. — El fósforo proviene del *apatito*, mineral magmático. Las aguas lo disuelven y las raíces de las plantas verdes se encargan de absorberlo. El fósforo es de importancia extraordinaria: la reserva de energía se realiza en un compuesto fosfatado, el ATP (adenosintrifosfato). El ciclo del fosfato se caracteriza por estar siempre rodeado de una atmósfera de oxígeno.

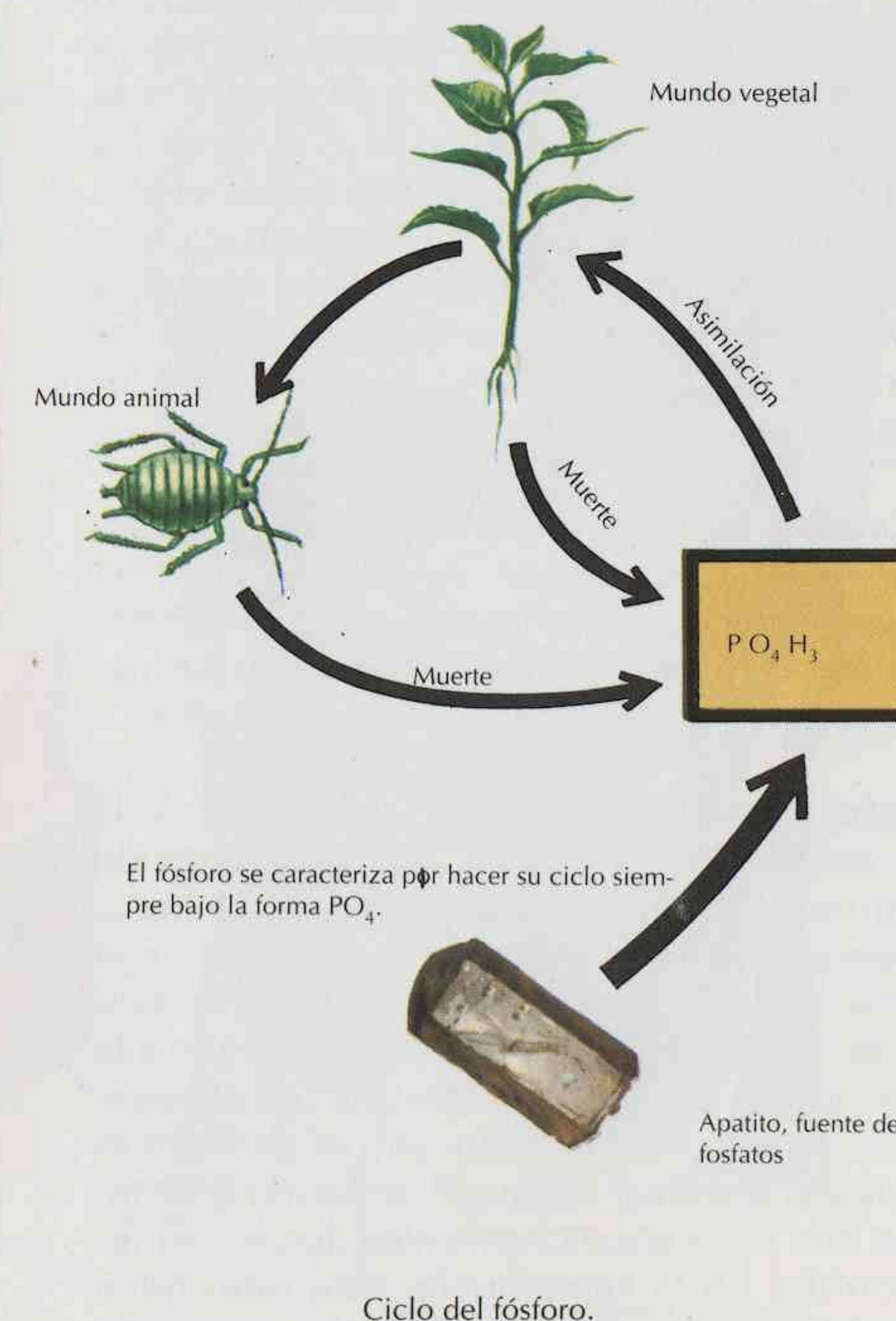
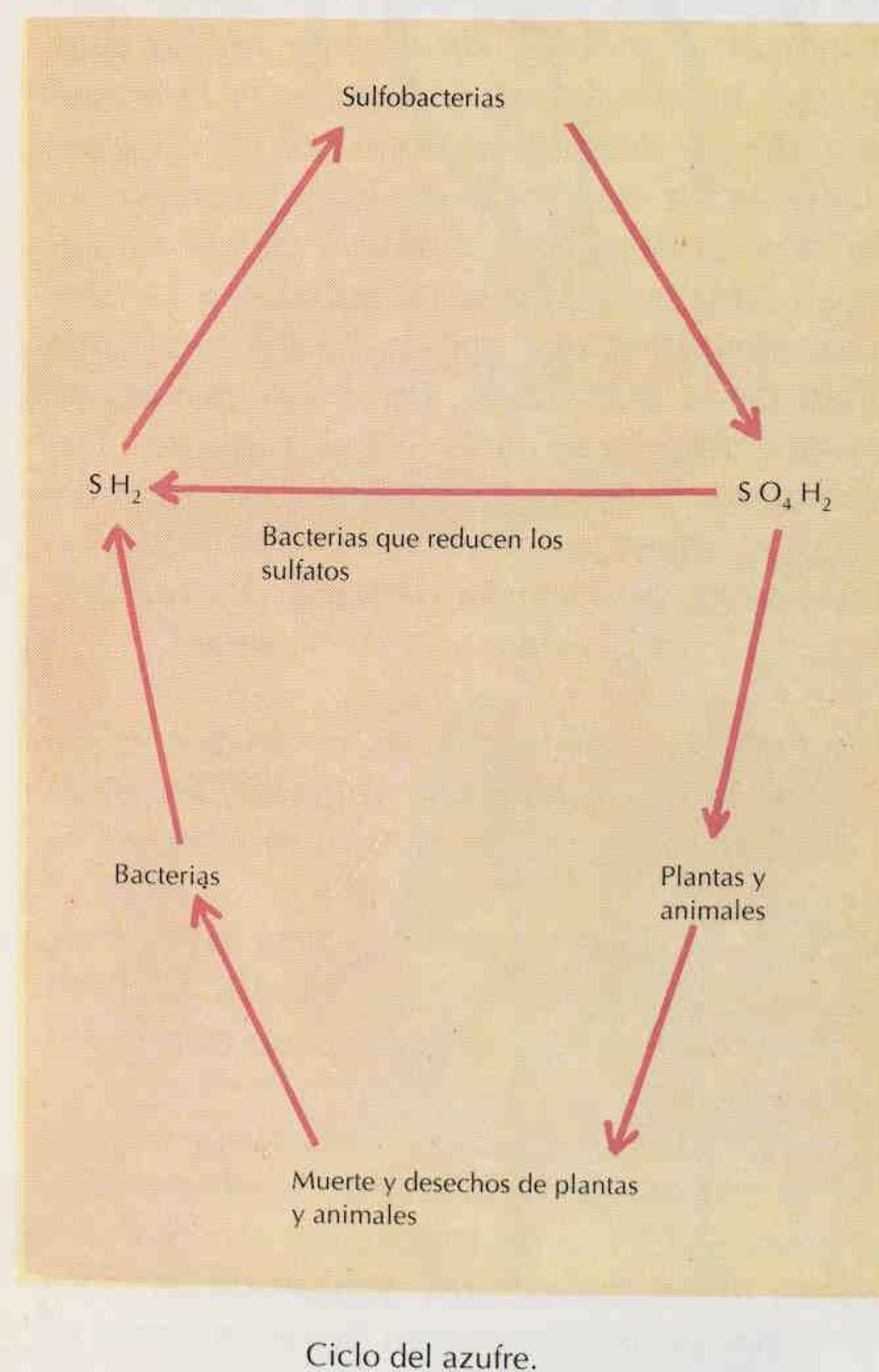
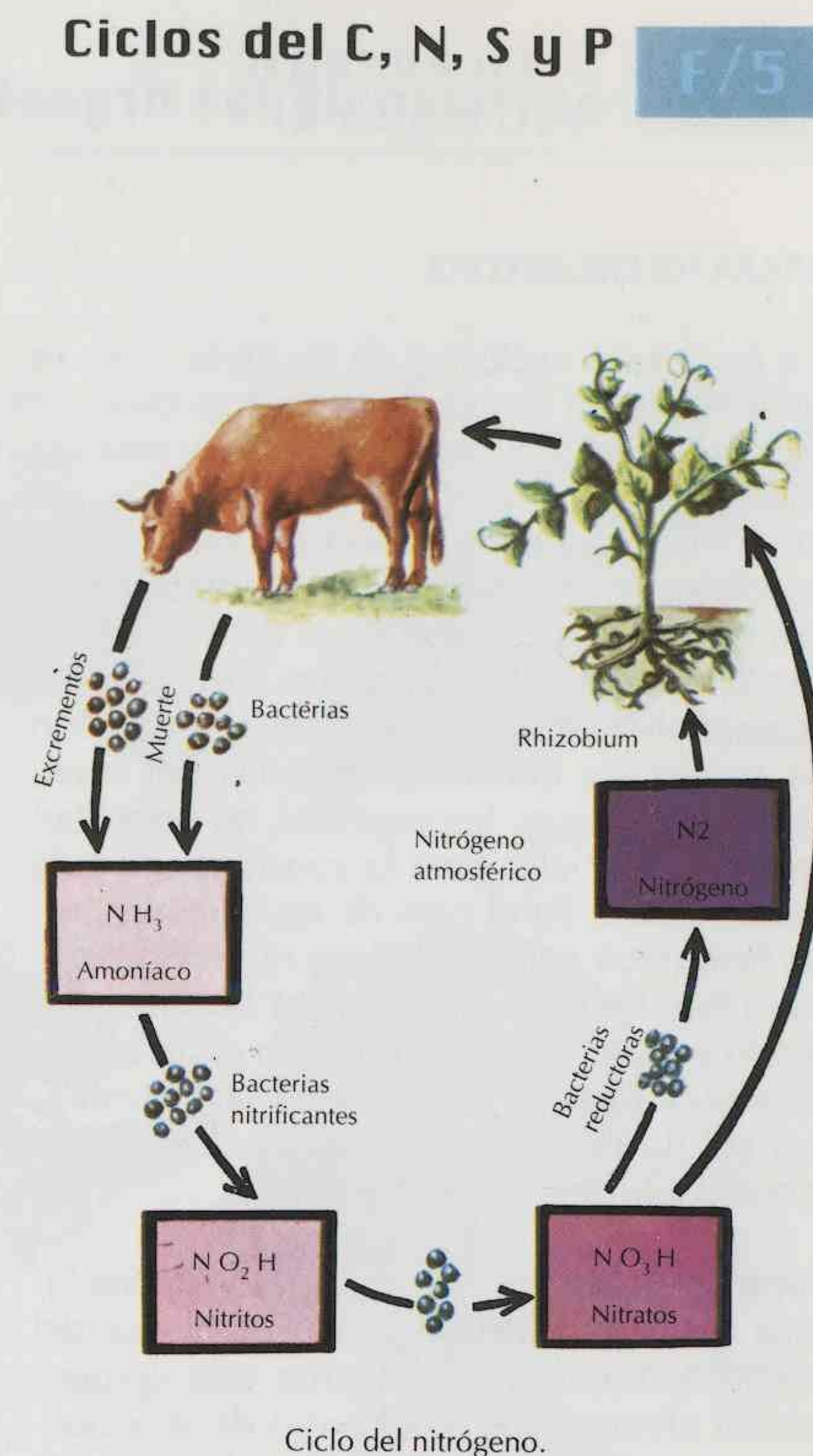
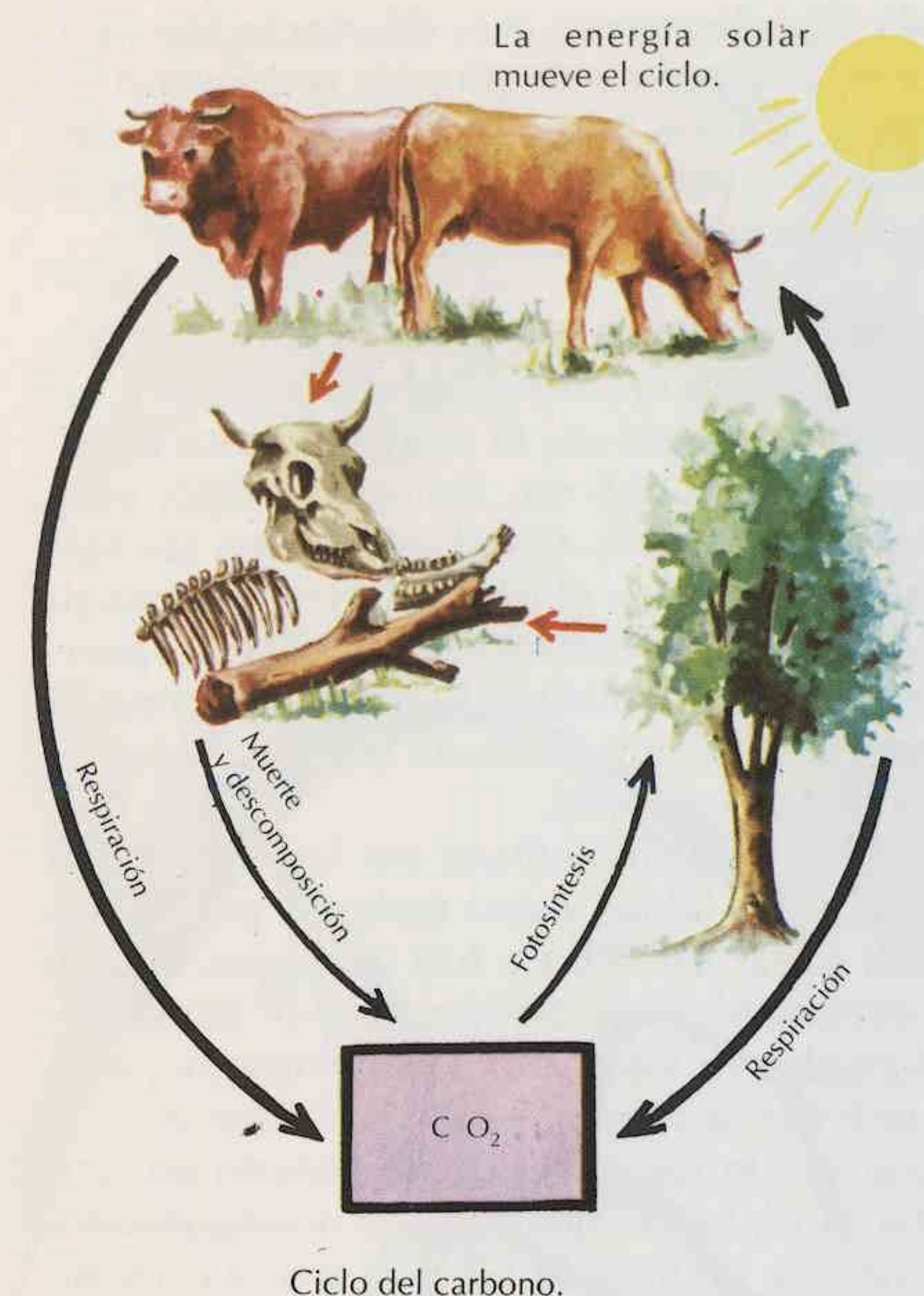
(Viene de la lámina D/2)

de las células, mientras que los virus poliédricos *ciloplasmáticos* sólo se forman con el citoplasma, dándose la circunstancia de que hasta ahora únicamente se han encontrado en las células intestinales.

La selectividad de los virus por determinados órganos o tejidos animales ha servido para un intento de clasificación. Como virus productores de enfermedades del hombre están los del *sarampión*, *viruela*, *gripe*, *poliomielitis* y *fiebre amarilla del hígado*. Deben también destacarse los virus de bacterias, o *bacteriófagos*.

(Viene de la lámina E/3)

tejido nervioso. Fagocitan las células muertas o degeneradas. Los hemoleucocitos se dividen en tres clases, según que sus granulaciones citoplasmáticas tomen los colorantes neutros, ácidos o básicos: *neutrófilos*, *acidófilos* y *basófilos*. Los primeros forman el 71 %, los acidófilos el 2 %, y 0,5 % los basófilos. Las plaquetas, llamadas también *trombocitos*, carecen de núcleo. Hay 250.000 por mm³ en el hombre, median en la coagulación de la sangre y quizás son fragmentos de células gigantes de la médula roja.



APARATO DIGESTIVO

Un fenómeno exclusivo de los seres vivos es la *nutrición* en virtud de la cual se produce intercambio continuo de materia y energía con el exterior. En los seres autótrofos, las sustancias incorporadas son exclusivamente minerales, mientras que los seres heterótrofos han de tomar el carbono, base del edificio viviente, bajo la forma orgánica. Dado que la materia alimenticia de las plantas verdes son las sustancias minerales tomadas del suelo disueltas en agua, los vegetales no necesitan órganos especiales para la transformación de los alimentos. En el caso de los animales, seres heterótrofos, las sustancias nutritivas orgánicas han de estar reducidas al tamaño adecuado para que sean solubles en el agua, haciéndolas capaces de atravesar las membranas celulares, procesos de transformación que constituyen la *digestión*.

Vacuolas digestivas. — Los animales unicelulares que hacen vida libre han de tomar del medio ambiente las partículas que componen su alimento, ya por medio de pseudópodos, que pueden aparecer en cualquier lugar de la superficie del cuerpo, como en el caso de las amebas, ya diferenciando una región bucal o *citostoma*, que sirve de entrada a la partícula alimenticia, como es el caso de los protozoos ciliados. El alimento queda englobado en el citoplasma y contenido en una *vacuola digestiva*, donde se vierten los jugos digestivos: enzimas capaces de desdoblar las grandes moléculas en sus principios constituyentes.

Cavidad digestiva. — En los Metazoos, a partir de los Celentéreos, como en la hidra de agua dulce, aparece ya una cavidad permanente, tapizada de células especializadas para la digestión y absorción de los alimentos.

Tubo digestivo. — El perfeccionamiento de la actividad digestiva lleva consigo la aparición de una cavidad con dos aberturas, la boca, que sirve para la entrada de alimentos, y el ano, que se utiliza para expulsar las sustancias no absorbidas, dando lugar todo ello a la formación de un tubo digestivo con diversas modificaciones. En las lombrices de tierra el aparato digestivo es simple, reducido a un tubo con unos ensanchamientos durante su recorrido. En la sanguijuela, este tubo tiene prolongaciones laterales llamadas *ciegos* di-

gestivos. Es en los vertebrados donde el aparato digestivo ofrece gran diferenciación morfológica, presentando en toda su longitud órganos distintos que, al igual que las glándulas anejas para la digestión, alcanzan caracteres morfológicos peculiares.

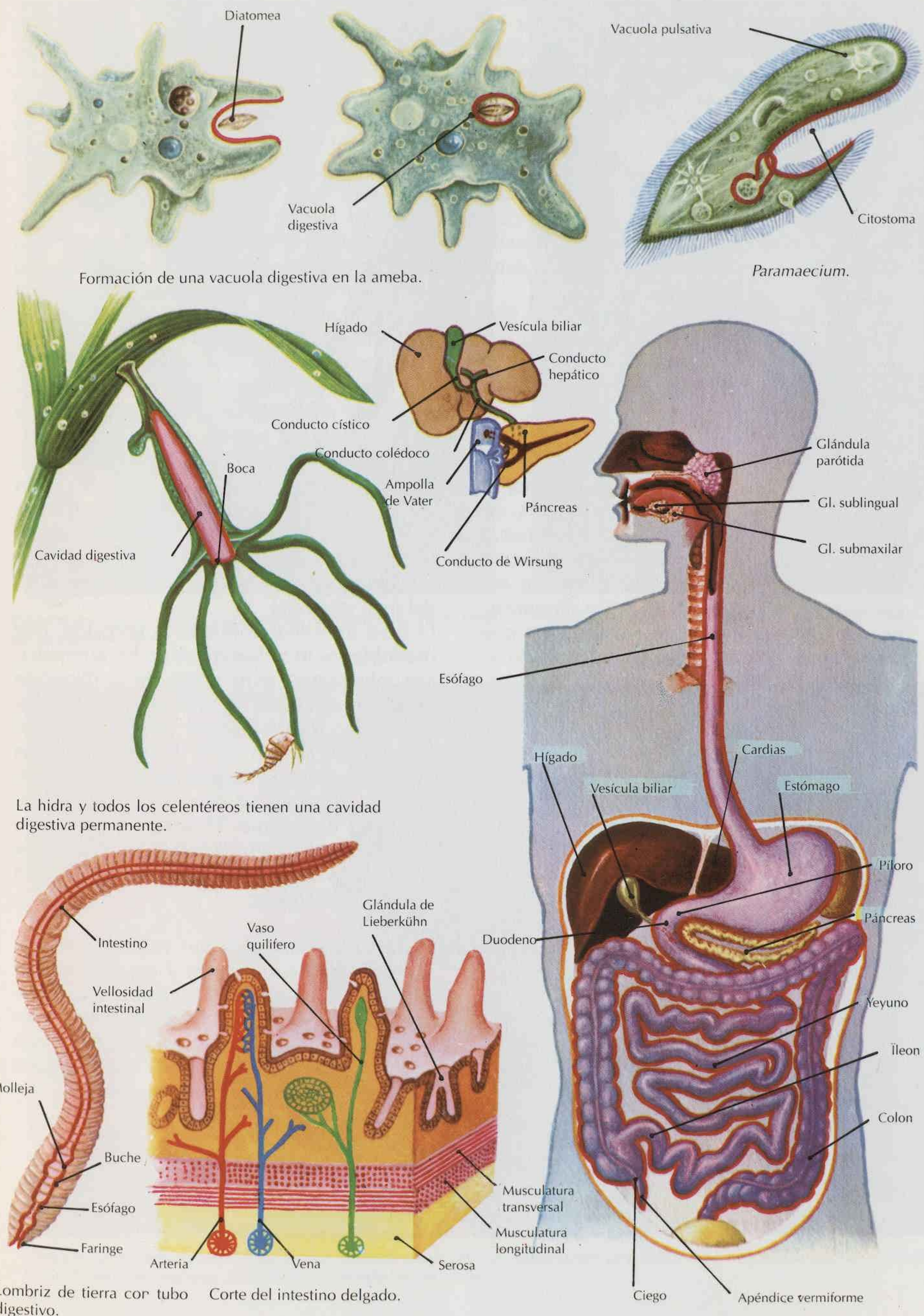
Aparato digestivo humano. — Hemos de distinguir en el mismo el *tubo digestivo* y las *glándulas* digestivas. El primero consta de diversos órganos: *boca*, *faringe*, *esófago*, *estómago* e *intestinos*. Las glándulas son las *salivales*, el *hígado* y el *páncreas*. Los órganos situados en el abdomen están fijados a sus paredes por una membrana llamada *peritoneo*, la cual se encuentra formada por dos hojas, la parietal y la visceral.

Boca. — Se halla limitada por las dos mandíbulas y los labios y está tapizada por la *mucosa bucal*. En la boca hay la *lengua*, órgano musculoso, y los *dientes*, piezas duras implantadas en los *alveolos dentarios* que, ayudados por la lengua, están destinados a la *trituration* de los alimentos con objeto de facilitar la digestión química. Se distinguen tres clases de dientes de función distinta: *incisivos*, de corona comprimida y cortante; *caninos* (colmillos), de corona puntiaguda para desgarrar, y *muelas*, de corona ancha para aplastar los alimentos. El hombre (y la mayor parte de los mamíferos) tiene dos denticiones sucesivas: la *dentición de leche*, compuesta por dos incisivos, un canino y dos premolares en cada mitad de la mandíbula, y la *dentición definitiva*, que consta, también en cada mitad de la mandíbula, de dos incisivos, un canino, dos premolares y tres molares. Los premolares presentan la corona con dos tubérculos, mientras que los molares la tienen con cuatro. La fórmula dentaria del hombre es, $\frac{2.1.2.3}{2.1.2.3}$

El numerador señala el número de dientes de la mitad de la mandíbula superior, mientras el denominador indica el mismo dato de la inferior.

Faringe. — Detrás de la boca está la faringe, que la enlaza con el esófago. En ella se abren las dos *trompas de Eustaquio*, que conducen al oído medio.

Esófago. — Es un tubo que enlaza la faringe con el estómago, atravesando el diafragma; tiene unos 25 cm de longitud y sus paredes poseen fibras musculares que producen *movimientos peristálticos* para hacer avanzar el alimento hacia el estómago.



Estómago.— El estómago está tapizado interiormente por la *mucosa gástrica*, que posee *células caliciformes* que segregan mucus lubricante; tiene además las *glándulas pépsicas*, con secreción del *jugo gástrico*, formado por la *pepsina* y *ácido clorhídrico*.

Intestinos.— El tubo digestivo continúa después del estómago, dando lugar al *intestino delgado*, cuyas paredes tienen numerosas vellosidades intestinales, prolongándose para formar finalmente el intestino grueso, el cual se abre al exterior por el ano que, obturado por el esfínter anal, permite la salida al exterior de las *heces* o *excrementos*.

Glándulas anejas del tubo digestivo.— Son las *glándulas salivales*, que vierten en la boca, y el *hígado* y *páncreas*, que vierten en el duodeno.

LA DIGESTIÓN DE LOS ALIMENTOS

De entre todos los alimentos tomados por el hombre, sólo las sales minerales, el agua, vitaminas y la glucosa son capaces de atravesar la mucosa intestinal sin sufrir una digestión previa. Las otras categorías de alimentos experimentan la acción de los jugos digestivos, que actúan por medio de los enzimas que llevan en disolución y que van ejerciendo su acción en los distintos tramos del tubo digestivo, donde en cada uno de ellos sufren los alimentos una transformación parcial, hasta su llegada al intestino delgado, en que la digestión se hace completa.

Masticación e insalivación.— En la boca, los alimentos son reducidos a partes más pequeñas (digestión mecánica), al mismo tiempo que se mezclan con la saliva, la cual posee un enzima, la *ptialina*, que actúa como una amilasa transformando el almidón en maltosa. La saliva contiene, además, *mucina*, que así resbala fácilmente hacia el estómago en el momento de la deglución o acto de tragar los alimentos.

Digestión gástrica o estomacal.— Los ali-

mentos sufren en el estómago la acción del *jugo gástrico*, que, además de ácido clorhídrico, contiene la *pepsina*, proteasa que transforma los albuminoides en unos polipéptidos llamados peptonas. Las demás categorías de alimentos no son alteradas por el jugo gástrico, llamándose *quimo* al líquido ácido en el que se transforman los alimentos en el estómago.

Digestión intestinal.— En el intestino delgado se realiza la digestión completa de toda clase de alimentos, pues en él actúan el *jugo pancreático*, la *bilis* y el *jugo intestinal*. El contenido alimenticio intestinal recibe entonces el nombre de *quilo*. El jugo pancreático contiene las enzimas siguientes: una *amilasa*, que transforma el almidón en maltosa; una *lipasa*, que desdobla las grasas en glicerina y ácidos grasos; la *tripsina*, que cambia los albuminoides y peptonas en tripéptidos y dipéptidos, continuando, pues, la modificación iniciada por la pepsina en el estómago. La tripsina es segregada por el páncreas bajo la forma de *tripsinógeno*, que se convierte en tripsina gracias a la acción de la *enterocinasa* del jugo intestinal.

El *jugo intestinal* contiene la *erepsina*, que desdobla los tri y dipéptidos en los aminoácidos integrantes, terminando así la digestión de las proteínas. La *maltasa*, *sacarasa* y *lactasa* digieren los disacáridos correspondientes. El papel de la *bilis* es el de emulsionar las grasas para que sean más fácilmente atacables por la lipasa, así como el de neutralizar la acidez del quimo. El intestino grueso no segrega ningún jugo digestivo, pero en él se continúa la digestión y absorción iniciada en el intestino delgado.

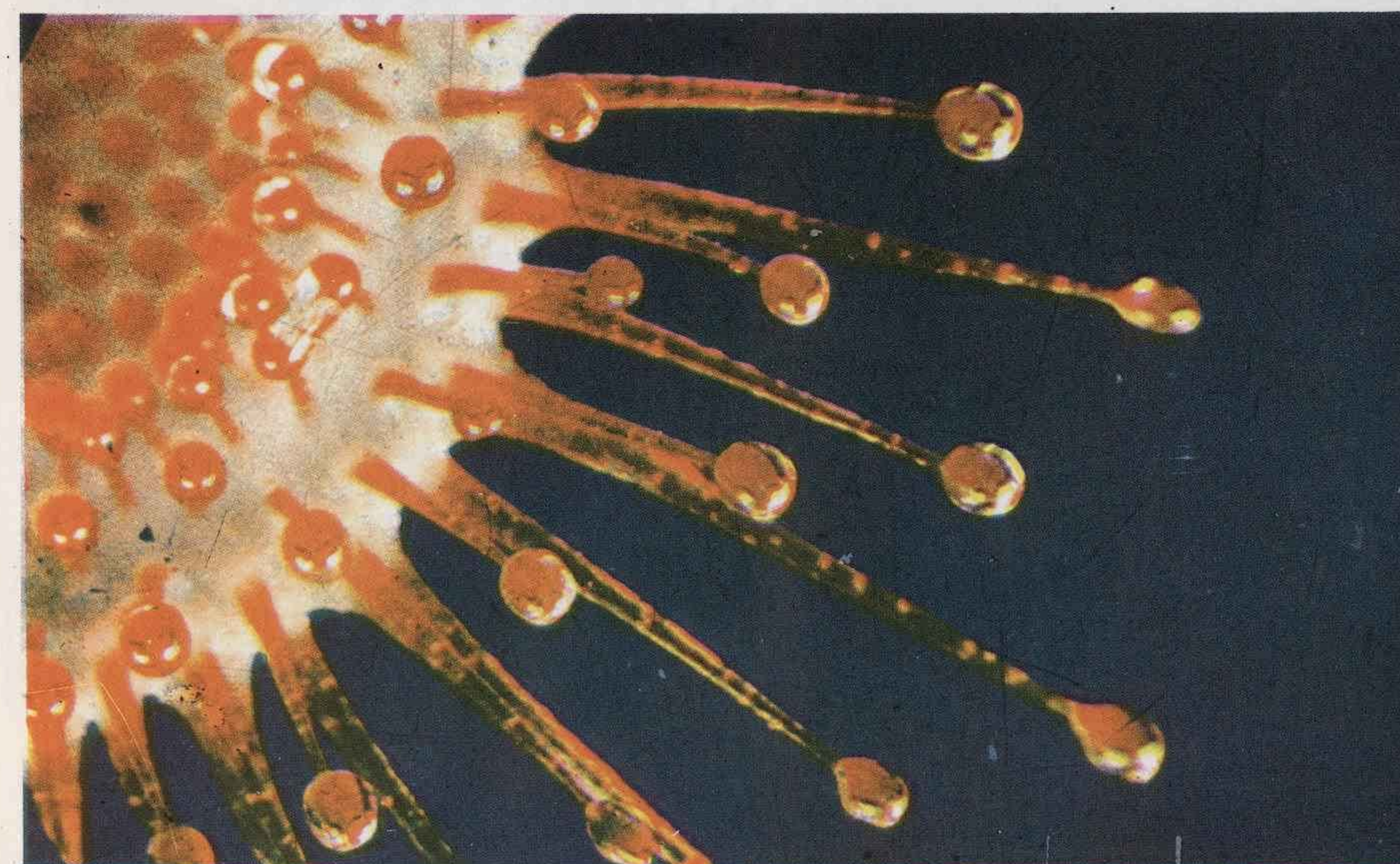
Plantas carnívoras.— Son vegetales verdes que atrapan a sus víctimas y *digieren su carne* con jugos digestivos, haciendo una digestión externa que tiene la finalidad de procurarse el nitrógeno que necesitan, pues viven en medios pobres en él. En lo que se refiere al carbono, lo obtienen por autotrofismo.



Dionaea muscipula, planta carnívora de Norteamérica, cuyas hojas son verdaderos cepos.



Detalle de la captura de un insecto. Las plantas carnívoras viven en suelos pobres en nitrógeno.



Vista parcial de *Drosera rotundifolia*, planta carnívora cuyos pelos glandulares son verdaderos tentáculos que aprisionan a sus víctimas. Pueden capturar unas 2.000 moscas e insectos en un verano.

LÍQUIDOS CIRCULATORIOS

Los animales más sencillos están ligados al medio acuático, que es el que envuelve sus células y del que toman el alimento y, también, al que vierten los productos de desecho. Los animales superiores, a medida que va aumentando su masa y se diferencian sus estructuras, necesitan de un medio interno líquido que se encargue de llevar rápidamente el oxígeno a las células, junto con las sustancias alimenticias, al mismo tiempo que recoja los productos del catabolismo que son expulsados por la *respiración* (CO_2) o bien por los riñones en el acto de la *excreción*.

Formación de las células sanguíneas.— En los vertebrados, la sangre realiza estas funciones y además las de defensa del organismo frente a invasiones extrañas. En los invertebrados, parecidas funciones son propias de la *hemolinfa*.

La vida de los glóbulos rojos es de 46 días por término medio, mientras que la duración de los leucocitos, así como la de las plaquetas, es de tres a cuatro días. Se comprende que estos elementos se hayan de producir continuamente, del mismo modo que se hace necesaria su destrucción. La formación de los glóbulos sanguíneos constituye la *hematopoyesis* (realizada en la médula roja ósea), en la que se distingue una *eritropoyesis*, o formación de glóbulos rojos, y una *leucopoyesis*, o formación de glóbulos blancos. La destrucción de los glóbulos muertos es la *hematolisis* y se efectúa principalmente en el hígado y en el bazo.

La eritropoyesis tiene lugar en la médula roja de los huesos. Los leucocitos de la serie granulosa se forman también en la médula roja, así como los linfocitos en el bazo y ganglios linfáticos. El bazo es un órgano de color rojo oscuro, situado en el abdomen y a la altura del riñón izquierdo.

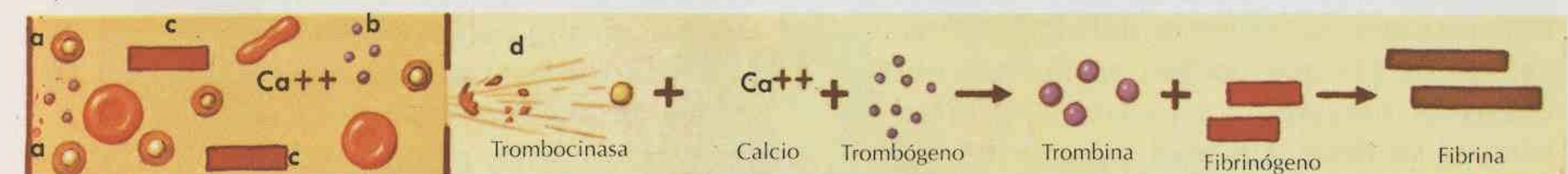
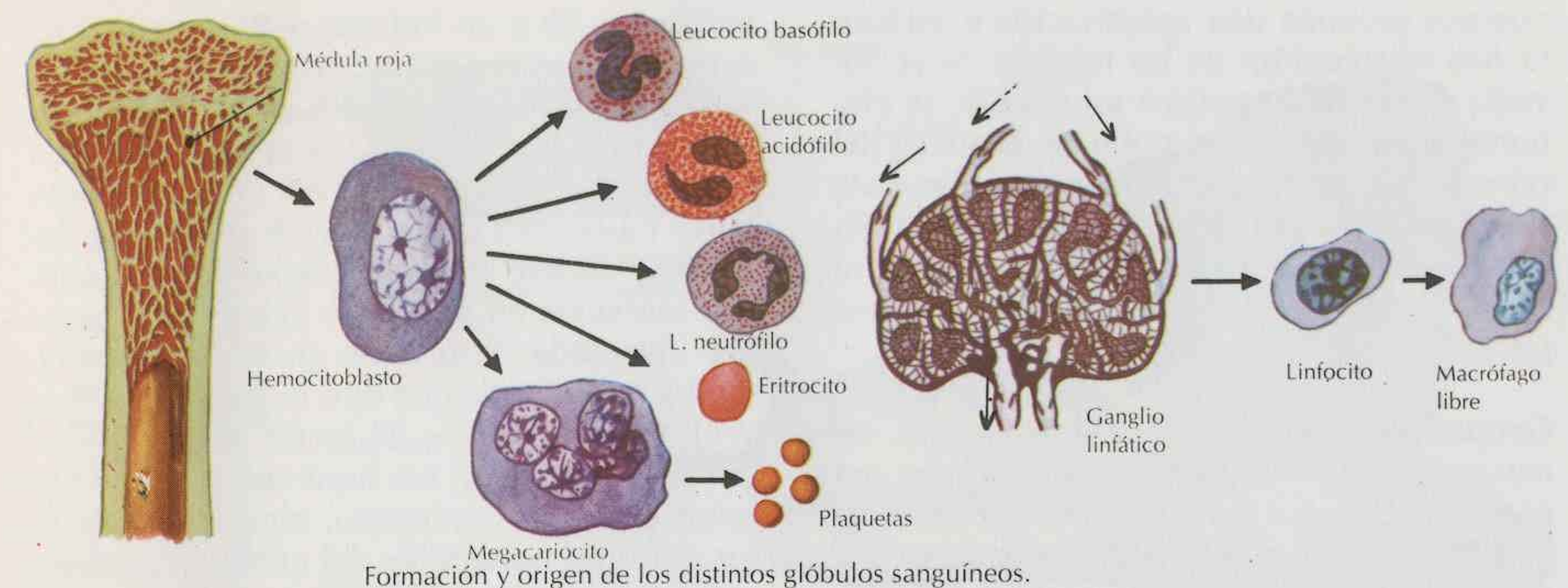
En la médula roja hay unas células primarias, los *hemocitoblastos*, que son las que originan los granulocitos, eritrocitos y megacariocitos. En el hígado se lleva a cabo una destrucción importante de glóbulos rojos, quedando en libertad la *colecistina*, constituyente de las membranas, que es expulsada con la bilis. La hemoglobina es transformada en *bilirrubina*, que también es eliminada con la bilis, a la que da color,

mientras que el hierro queda reservado en el hígado.

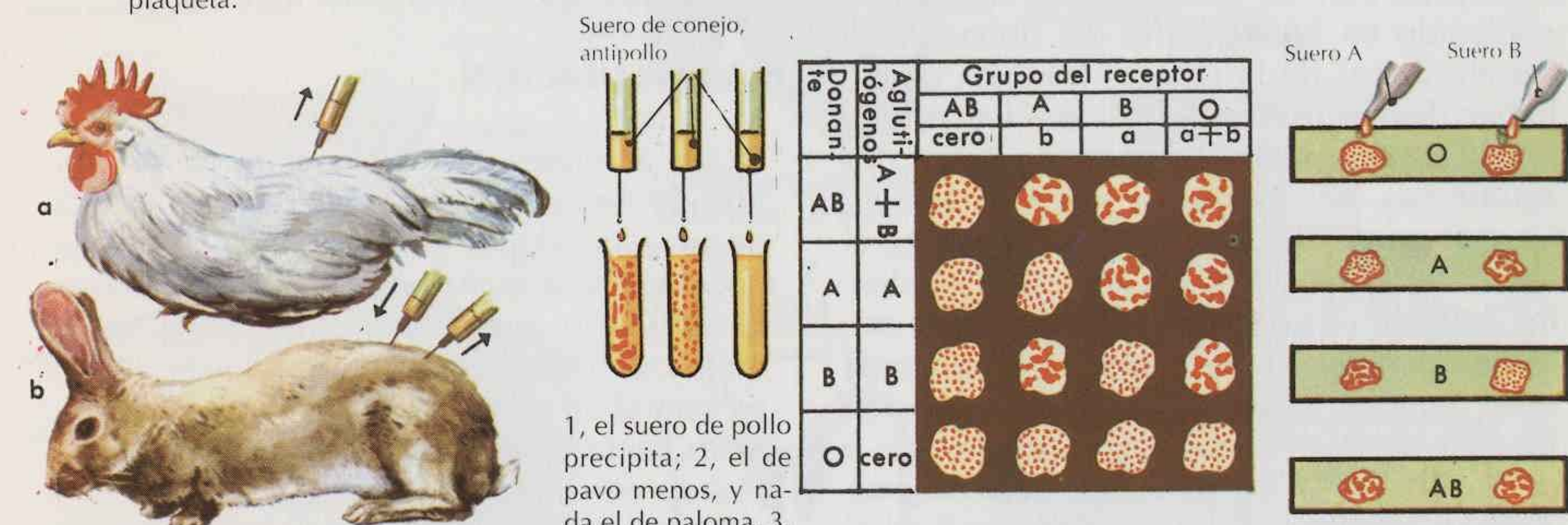
Plasma intersticial y linfa.— Los tejidos animales tienen sus células bañadas por el *plasma intersticial*, formado por exudación de plasma de los capilares sanguíneos, junto con linfocitos. El plasma intersticial, cargado de linfocitos, penetra en los vasos linfáticos, por los que se pone en circulación, constituyendo la *linfa*, la cual se mezcla finalmente con la sangre, toda vez que sus vasos desembocan en el sistema circulatorio sanguíneo. La sangre, la linfa y el plasma intersticial constituyen el *medio interno*.

Coagulación de la sangre.— Dado que el medio interno de los animales está formado por líquidos circulantes, se comprende que existan mecanismos que impidan la salida de estos líquidos en caso de herida. El procedimiento para impedir el derrame es variado. Unas veces la herida es taponada acumulando células del líquido circulatorio que forman una masa homogénea que impide la hemorragia, como es el caso de los Equinodermos; en otras ocasiones son los mismos músculos de los bordes de la lesión los que se contraen, cerrándola, como sucede en los Moluscos, aunque también el mismo líquido circulatorio se puede *coagular* al ponerse en contacto con el lugar del traumatismo, como sucede en los Vertebrados. Las plaquetas llevan encerrado un sensibilizador, la *trombocinasa*, que queda en libertad al estallar aquéllas por contacto con los bordes de la herida: la trombocinasa se combina con una sustancia contenida en el plasma sanguíneo, el *trombógeno*, y con iones de calcio, dando como resultado la formación de una enzima llamada *trombina*, que transforma el fibrinógeno en *fibrina*. La fibrina es insoluble y precipita, taponando la herida.

Anticuerpos de la sangre.— Cuando el organismo se siente invadido por agentes extraños, tanto si son seres patógenos como una cualquiera materia compleja, además de la *defensa celular* a cargo de los leucocitos se vale de una *defensa química*, encargada de precipitar o destruir las sustancias dañinas, llamadas en este caso antígenos. La defensa química corre a cargo de los *anticuerpos*, que pertenecen al grupo de las globulinas del plasma sanguíneo. Cuando los antígenos están en las células, como bacte-



Coagulación de la sangre: a, plaqueta con trombocinasa; b, trombógeno; c, fibrinógeno; d, ruptura de una plaqueta.



En a se extrae suero de pollo y se inyecta a un conejo b, elaborando éste anticuerpos antipollo.



Un matrimonio en que los dos son Rh -. Los hijos no sufren trastorno alguno.

Si la mujer es Rh - y el marido Rh +, los hijos son Rh + pero sobrevive el del primer embarazo.

El segundo embarazo suele ir seguido de aborto.

rias y glóbulos rojos, la acción de los anticuerpos provoca una *aglutinación* e incluso la *lisis* (disolución) de las mismas. Si se inyecta suero de un pollo a un conejo, se elaboran anticuerpos anti-pollo. Si el suero del conejo se introduce en suero de pollo, éste *precipita*. El suero de pavo sólo se enturbia ligeramente, mientras que el de paloma queda transparente. Hay, pues, una gran especificidad de los anticuerpos.

Grupos sanguíneos.— Los anticuerpos almacenados en el plasma sanguíneo son, en general, el producto de la acción de un antígeno sobre el organismo. Sin embargo, hay unos *anticuerpos naturales*, elaborados normalmente, como se vio en algunos casos de transfusiones sanguíneas del donante al receptor, en las que podían producirse consecuencias nefastas. La *incompatibilidad de sangres* se debe a que el plasma del receptor contiene un anticuerpo (*aglutinina*), que reacciona con un antígeno (*aglutinógeno*) contenido en los hematíes del donador. En los eritrocitos de la especie humana puede haber dos aglutinógenos llamados A y B, mientras que en el plasma puede haber dos aglutininas, la a (o anti A) y la b (o anti B). Una persona que tenga en sus hematíes el aglutinógeno A no puede tener en su plasma la aglutinina a pero sí la b. Esto hace posible la existencia de 4 grupos sanguíneos en el hombre: *grupo O*, sin aglutinógenos en los hematíes, pero con las aglutininas a y b en el plasma; *grupo A*, con el aglutinógeno A en los hematíes y con la aglutinina b en el plasma; *grupo B*, con el aglutinógeno B en los hematíes y con la aglutinina a en el plasma; *grupo AB*, con los aglutinógenos A y B en los hematíes y sin aglutininas en el plasma. En el cuadro de la lámina F/8 puede apreciarse que las personas del grupo O son donantes universales, pues sus glóbulos rojos no se aglutinan en ningún caso; en cambio, no pueden recibir sangre más que de las personas de su mismo grupo, ya que tienen aglutininas a y b en su plasma. Las personas del grupo AB son receptores universales, aunque sólo pueden dar sangre a las personas de su mismo grupo.

El *antígeno Rh* o *Rhesus* es llamado así debido a que el anticuerpo correspondiente se descubrió en conejos y cobayos a los que se les inyectó eritrocitos del mono *Macacus rhesus*. Los hematíes de las personas Rh+ se aglutinan con la aglutinina anti-Rh del suero

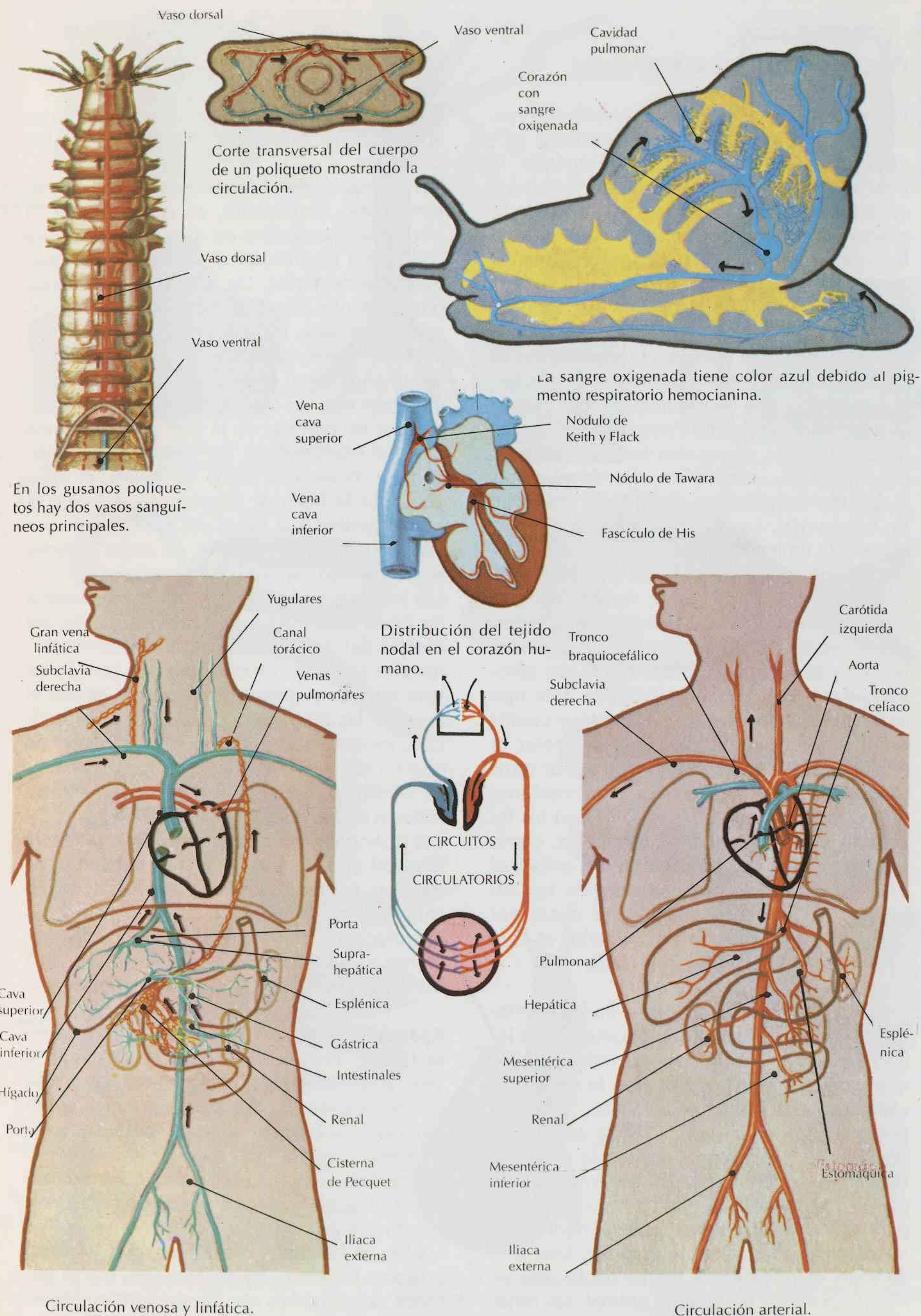
sanguíneo del mono *Rhesus*. Si se inyecta antígenos Rh a un individuo Rh—, es decir, a personas carentes de estas proteínas, se forman anticuerpos anti-Rh en el plasma de la persona inyectada. Una segunda inyección de sangre con antígeno Rh a esta persona causa un grave *shock* e incluso la muerte, debido a que las aglutininas y lisinas formadas en su sangre aglutinan la sangre inyectada. Esto tiene gran importancia en los matrimonios en que la mujer es Rh— y el marido es Rh+. El factor Rh es dominante; por lo tanto los hijos serán Rh+. Durante el primer embarazo, algunos eritrocitos del hijo, portadores del antígeno Rh, pasan a la sangre materna, provocando la producción por ésta de anticuerpos anti-Rh, aunque el hijo sobrevive en este caso. En el segundo embarazo, los anticuerpos de la madre atraviesan la placenta y entran en la circulación fetal, destruyendo los hematíes del hijo con resultado generalmente mortal, produciéndose el aborto del feto.

LA CIRCULACIÓN

En los animales inferiores, como en la lombriz de tierra, el aparato circulatorio consta de un *vaso dorsal contráctil*, en el que la circulación se realiza de atrás hacia adelante. Este vaso dorsal tiene unas dilataciones que actúan de corazón. Hay además un vaso ventral en el que el líquido circula de delante hacia atrás. El corazón se va diferenciando en la escala zoológica, apareciendo en los Moluscos como órgano bien definido de paredes musculosas, observándose al mismo tiempo un sistema de vasos con una aorta que sale del ventrículo. En los Vertebrados, al mismo tiempo que se forma el sistema vascular sanguíneo, se desarrolla un *sistema linfático*, que recoge el plasma intersticial que envuelve a las células enriquecido en elementos celulares fagocíticos, y lo vierte en el sistema venoso.

El corazón humano se encuentra muy diferenciado, como el de los vertebrados en general, y está dotado de automatismo gracias a la presencia del *tejido nodal*, que, representado por los nódulos de Keith y Flack en la aurícula derecha y el nódulo de Tawara en el tabique interauricular, contrae espontáneamente.

(Concluye en la lámina G/2)



Respiración y metabolismo

ÓRGANOS PARA LA RESPIRACIÓN

Las sustancias alimenticias absorbidas sirven, en principio, para formar materia propia, proceso que supone un desgaste de energía, la cual se obtiene de estas mismas sustancias alimenticias, sobre todo de los glúcidos y lípidos. Por otra parte, el funcionamiento de los órganos lleva consigo un consumo de energía: las raíces también necesitan de ella para extraer las sales minerales del suelo; el corazón requiere potencia para impulsar la sangre a través del cuerpo; el desplazamiento de los animales supone asimismo un desgaste energético. Por consiguiente, tanto para la formación de su propio cuerpo como para su funcionamiento, el ser vivo realiza un consumo energético, siendo los alimentos, especialmente los glúcidos, los que se encargan de sufragarlo. La obtención de la energía contenida en estos alimentos se consigue generalmente quemándolos, es decir, combinándolos con el oxígeno, fenómeno que constituye la *respiración* de los seres vivos, cuyos productos de desecho son el gas carbónico y el agua, las mismas sustancias aprovechadas por la función clorofílica. Este tipo de respiración se llama *aerobia*. Hay ciertos organismos que son capaces de liberar la energía contenida en los alimentos por otros procedimientos distintos al de su combinación con el oxígeno, como sucede en las levaduras y en los gusanos intestinales, como la tenia. Estos organismos no necesitan el oxígeno para vivir, descomponiendo los alimentos por una fermentación, es decir, por un proceso respiratorio sin oxígeno, el cual constituye la respiración *anaerobia*.

Respiración en los animales.— En los animales inferiores tampoco hay órganos especiales destinados a la captura del oxígeno, sino que todas las células del cuerpo lo toman directamente disuelto en el agua, a la que arrojan el gas carbónico. La falta de aparato respiratorio va acompañada de la carencia de sistema circulatorio. En los Anélidos, la piel está adaptada al intercambio de gases; para ello está muy vascularizada, dando por resultado una *respiración cutánea*. Esta modalidad respiratoria a través de la piel es muy importante en el reino animal; las ranas la tienen tan desarrollada, que hasta pueden

vivir sin pulmones, por tiempo relativamente largo.

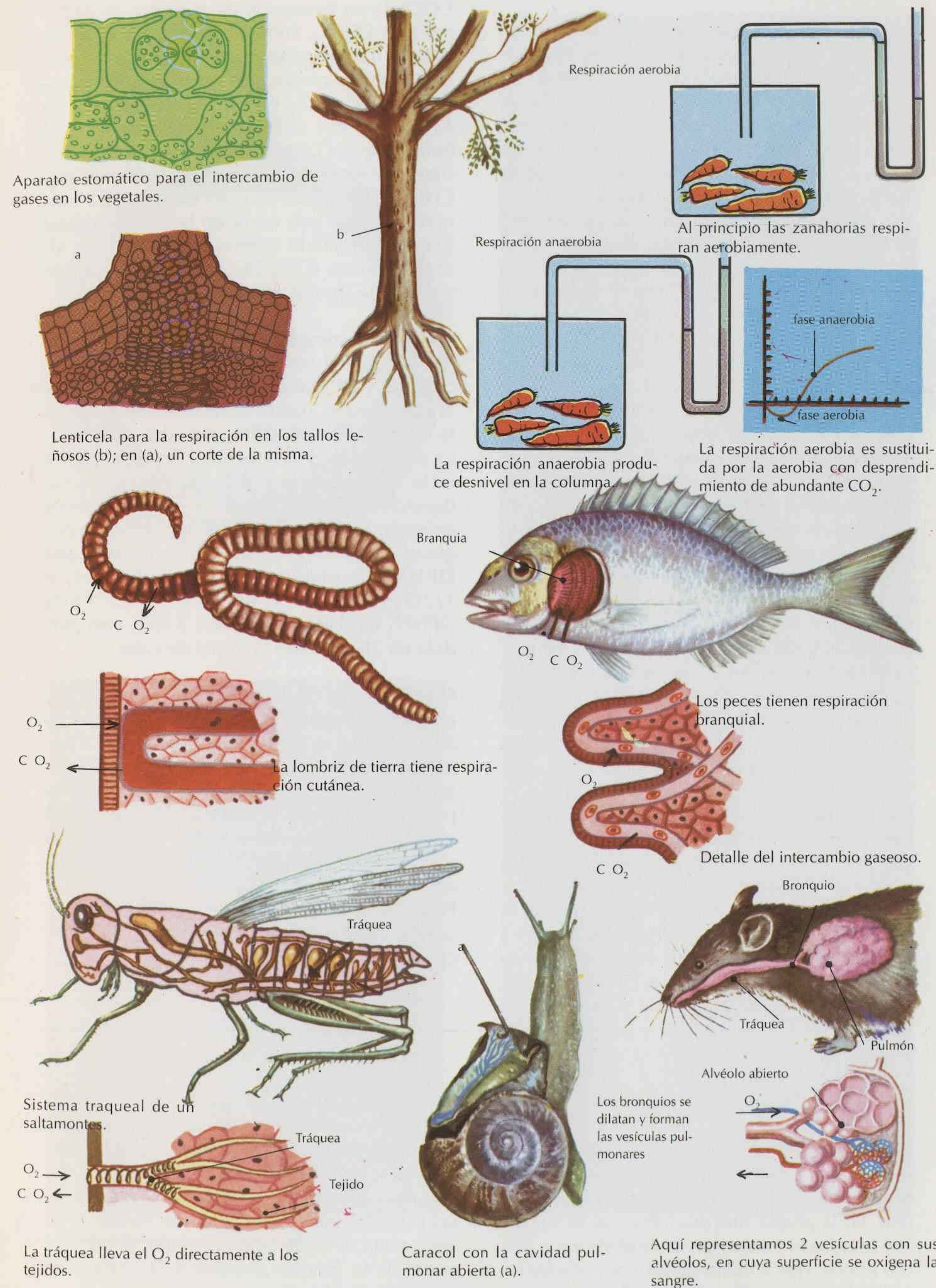
En un mayor grado de perfeccionamiento aparecen las *branquias*, las *tráqueas* y los *pulmones*.

Las *branquias* son expansiones foliáceas o filamentosas ramificadas, en cuyo interior la circulación sanguínea es muy abundante; se dan en los organismos acuáticos. En los poliquetos sedentarios, las branquias, formadas por tentáculos ramificados, están en la extremidad cefálica. En los crustáceos inferiores aparecen como apéndices laminares en continuo movimiento. En los moluscos y crustáceos superiores, las branquias se hallan protegidas por un repliegue de la piel que forma una *cavidad branquial*. En los vertebrados de respiración branquial, como los peces, el agua entra por la boca, y, después de atravesar el tubo digestivo y la pared del cuerpo, sale por las *hendiduras branquiales*, en cuyas paredes se encuentran las láminas branquiales.

Las *tráqueas* están constituidas por un sistema de tubos ramificados por todo el interior del cuerpo del animal, cuyas arborizaciones terminales se ponen en contacto con las células para realizar el intercambio gaseoso. Hacia el exterior, las tráqueas se abren por unos orificios, los *estigmas*. Son propias de animales de respiración aérea, como los insectos y arañas. La ventilación se efectúa por contracciones rítmicas de los músculos del cuerpo.

Los *pulmones* son dilataciones vesiculares de la pared de la faringe, más o menos ramificadas. Los gasterópodos pulmonados, como el caracol terrestre, tienen la cavidad paleal tan vascularizada que actúa de pulmón. Los pulmones son los órganos que han permitido a los vertebrados la conquista del medio aéreo.

Aparato respiratorio humano.— Se inicia en la *laringe*, órgano encargado de producir la voz, y se continúa por la tráquea, que desciende delante del esófago. La tráquea se bifurca en dos *bronquios*, cada uno de los cuales penetra en un pulmón, extendiéndose en varias direcciones y formando el *árbol bronquial*. Los últimos bronquios se ramifican dando los *bronquiolos*, los extremos de los cuales, al hincharse como si fuesen vejigas, originan las *vesículas pulmonares*, cuyas paredes, arracimadas, son las que forman los *alvéolos pulmonares*.



METABOLISMO

La digestión desintegra las partículas alimenticias y la circulación se encarga de llevarlas hasta las células, haciendo que penetren en su citoplasma, confiándose a la respiración el proporcionar el oxígeno necesario para liberar la energía contenida en los elementos nutritivos. Estos alimentos los utiliza la célula para el mantenimiento o aumento de su propia sustancia, así como para realizar las actividades que le son propias, degradándolos para la liberación de la energía que contienen. El conjunto de estas transformaciones de la materia constituye el *metabolismo*, el cual viene realizado por los enzimas. Los fenómenos de destrucción constituyen el *catabolismo*, mientras que los de edificación dan lugar al *anabolismo*, estableciéndose entre estos procesos un equilibrio que justifica la frase de Claude Bernard: «La vida es la muerte».

Metabolismo de los glúcidos.— La glucosa introducida en el organismo pasa al estado de reserva en el hígado bajo la forma de *glucógeno*. Conforme se necesita, el hígado la vierte en la sangre, representando la glucosa el alimento hidrocarbonado por excelencia. La degradación de la glucosa se hace en presencia del oxígeno, según la fórmula: $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 674 \text{ Cal.}$ Esta es una representación global de la transformación, realizándose escalonadamente. Es la reacción inversa a la fotosíntesis.

Síntesis de ATP.— Conforme se va produciendo energía en la degradación de glucosa, aquélla se va almacenando en el ADP, que pasa a ATP. Cada molécula de ATP almacena 8 calorías. La degradación de la glucosa se realiza en dos fases principales: durante la primera, por una glucolisis es convertida en

dos moléculas de ácido pirúvico ($CH_3-CO-COOH$) con formación de otras dos de ATP y paso de DPN a $DPNH_2$; durante la segunda fase, si hay oxígeno en el medio (*fase aerobia*), el ácido pirúvico es completamente oxidado, dando CO_2 y H_2O y produciendo 36 ATP; si no hay oxígeno (*fase anaerobia*), el hidrógeno del $DPNH_2$ pasa al ácido pirúvico, siendo transformado en ácido láctico ($CH_3-CHOH-COOH$) en el caso de la célula animal, mientras que en el de la célula vegetal lo pasa a aldehído acético (CH_3-CHO) y a alcohol etílico ($CH_3-C_2H_5OH$), como puede verse en la lámina adjunta.

Oxidación completa de la glucosa.— En la fase aerobia el hidrógeno del $DPNH_2$ pasa al oxígeno y el ácido pirúvico se combina con la coenzima A, dando acetil-coenzima A, con la intervención del DPN, que pasa a $DPNH_2$. La *acetil-coenzima A* penetra entonces en un ciclo alimentado por el ácido cítrico, llamado *ciclo de Krebs*, donde es completamente oxidada. En la oxidación de la glucosa se originan $12DPNH_2$. En la oxidación de cada $DPNH_2$ se producen 57 cal. ($DPNH_2 + 1/2O_2 \rightarrow DPN + H_2O + 57 \text{ cal.}$). Por cada $DPNH_2$ oxidado se originan 3 ATP, con pérdida de 26 cal. bajo la forma de calor.

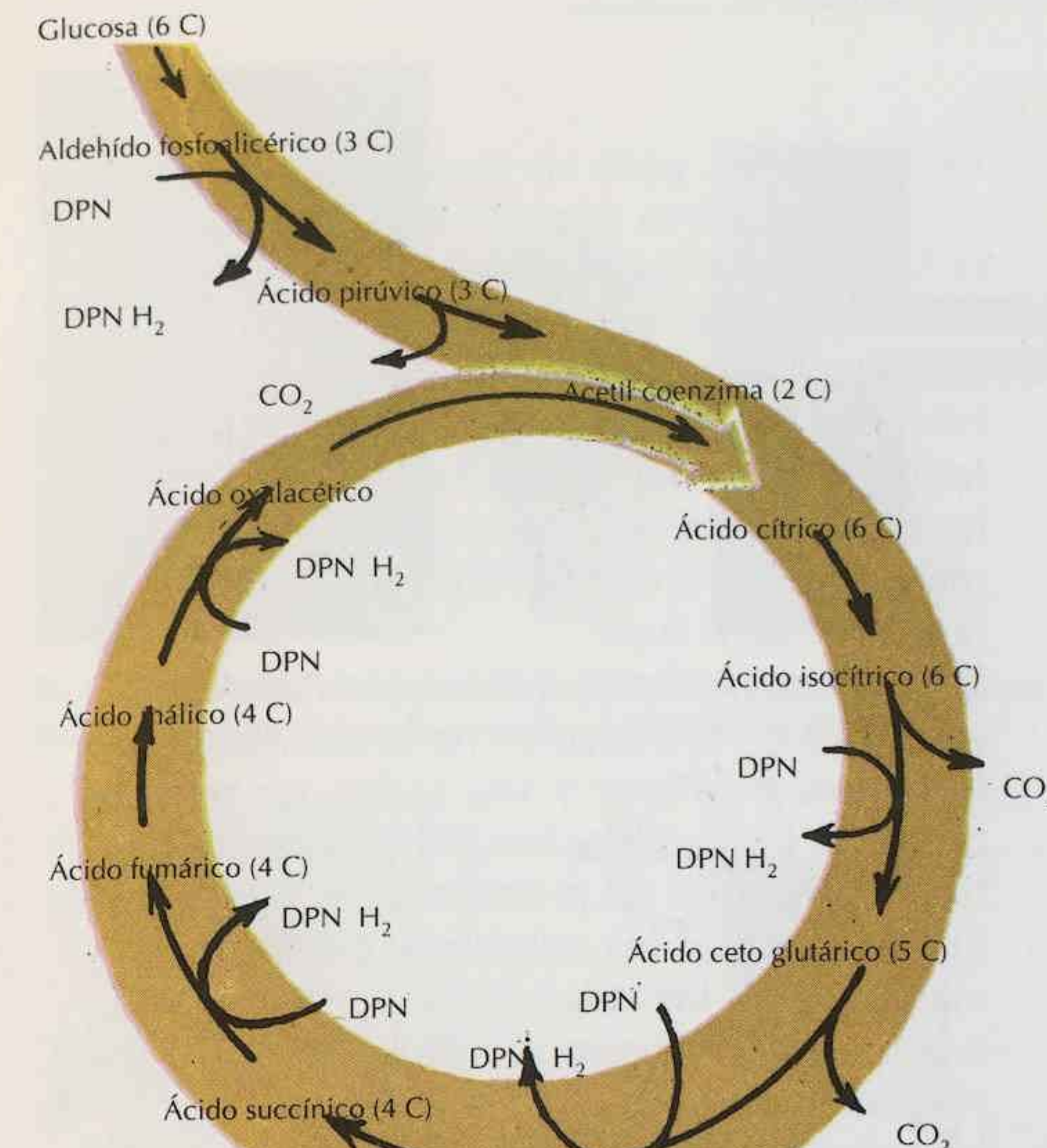
Metabolismo de lípidos y prótidos.— Las grasas son degradadas e incorporadas al ciclo de Krebs; en su anabolismo interviene la coenzima A (Co A-SH), que incorpora ácidos grasos a la glicerina. En la degradación de los prótidos se produce *amoníaco*, que en los mamíferos es transformado por el hígado en urea y excretado por la orina ($2NH_3 + CO_2 + 2ATP \rightarrow H_2N-CO-NH_2 + 2ADP + 2P$). En el catabolismo de los ácidos nucleicos se origina ácido úrico, que resulta de la oxidación de sus bases púricas.

(Viene de la lámina F/9)

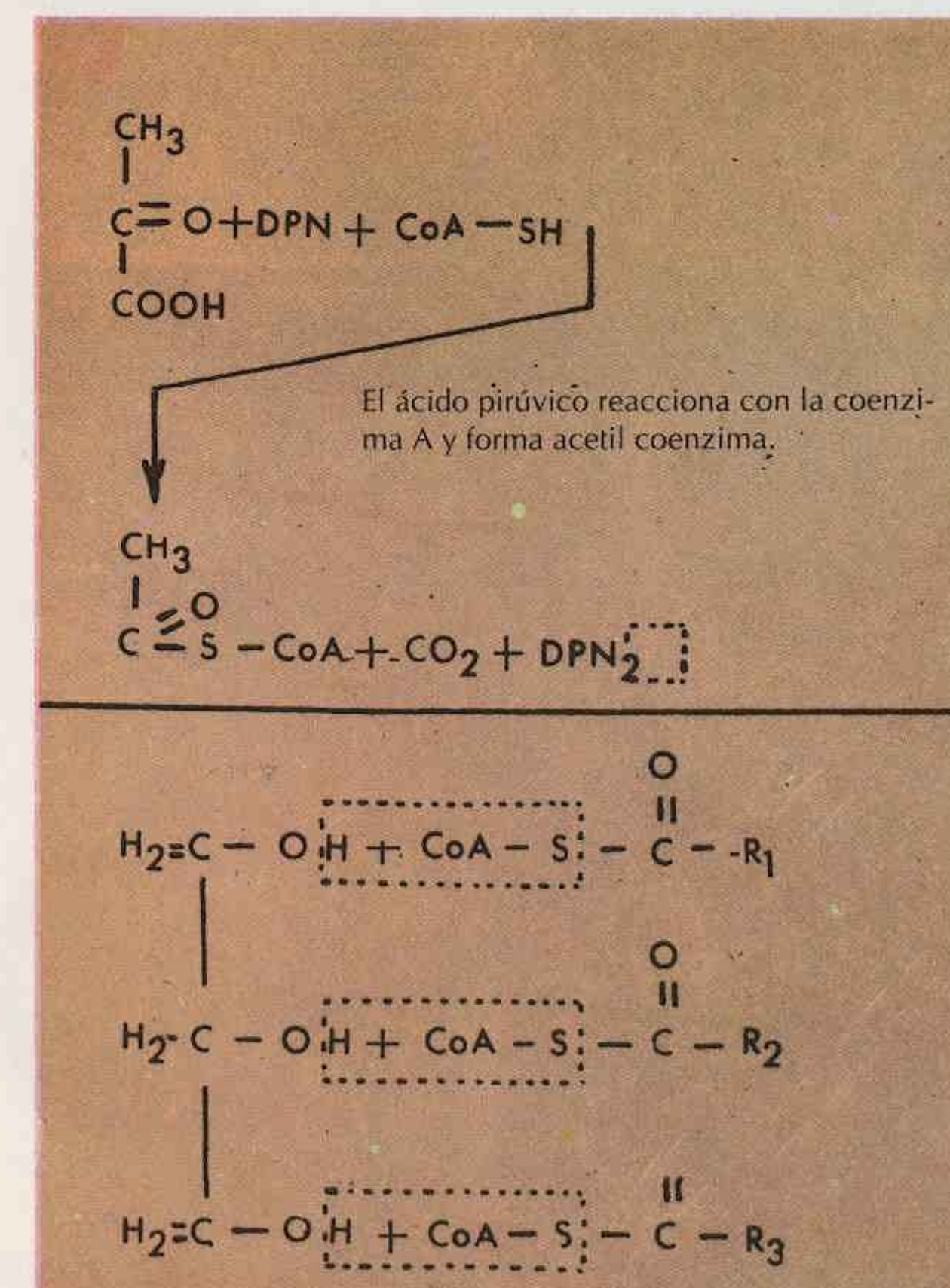
Distribución de los productos alimenticios.

— La circulación sanguínea se encarga de distribuir los alimentos absorbidos en el intestino. En la propia mucosa intestinal se sintetizan las grasas a expensas de la glicerina y ácidos grasos, que a través de las *vellosidades intestinales* pasan a los vasos quilíferos, que son

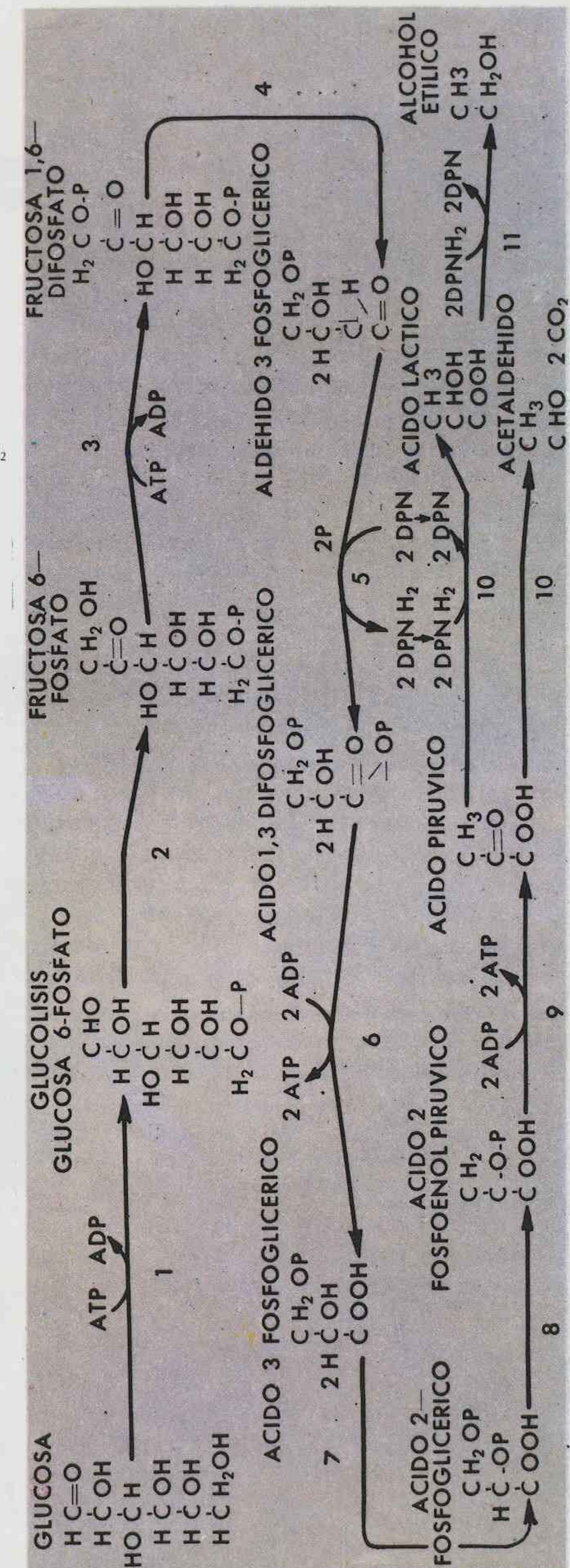
capilares linfáticos encargados de llevar la emulsión grasa a la cisterna de Pecquet y, desde allí, siguiendo el canal torácico, a la vena subclavia izquierda. El resto del quilo es absorbido por los capilares sanguíneos de las vellosidades intestinales, que por medio de la vena porta es trasladado al hígado, donde, en virtud de la *función glucémica*, la glucosa se convierte en glucógeno.



Ciclo de Krebs o del ácido cítrico.



Síntesis de una grasa a partir de la glicerina.



Fermentación de la glucosa.

Excitabilidad de la materia viva

FUNCIONES DE RELACIÓN

Las funciones de nutrición aseguran al organismo el intercambio de materia con el medio ambiente; de aquí su posibilidad de seguir viviendo, pero estas funciones no podrían realizarse sin la presencia en los seres vivos de una *capacidad de reacción*, llamada *excitabilidad*, frente a las condiciones variantes del medio ambiente. Las reacciones del organismo a los estímulos externos constituyen las *funciones de relación*. Las bacterias y algas unicelulares, así como los animales, realizan movimientos locomotores activos en busca de las condiciones favorables de vida. Las plantas superiores, seres fijos al sustrato, también efectúan movimientos en sus órganos.

Movimientos de órganos de plantas. — Los movimientos en que hay una relación con la parte del órgano estimulado se llaman tropismos o movimientos de orientación, gracias a los cuales los órganos de las plantas fijas se orientan de modo permanente en la forma más adecuada para su vida. Según el agente que estimula se distingue un *fototropismo*, provocado por la luz, un *geotropismo*, producido por la gravedad, el *hidrotropismo*, ocasionado por el agua, el *quimiotropismo*, por las sustancias químicas. Los tallos tienen *fototropismo positivo*. Si se ilumina lateralmente un coleóptilo de avena, se observa que éste dirige su extremo hacia la luz, y, si se trazan en él pequeñas señales con tinta china, se comprueba que este movimiento es de crecimiento: el lado expuesto a la luz crece más lentamente que el lado que ha quedado en la sombra, provocando una curvatura hacia la luz. Esta *reacción fototrópica de crecimiento* se produce por alteración de una hormona de crecimiento, la *auxina*. Se puede poner prácticamente de manifiesto este fenómeno iluminando lateralmente un coleóptilo de avena, y, cortando su ápice, se pone el coleóptilo sobre un bloque de agar con una lámina de mica que lo divide en dos, así como al ápice del coleóptilo, separando de este modo la parte iluminada de la parte que había quedado en la oscuridad. Cogiendo la mitad del bloque de agar en contacto con la parte no iluminada y poniéndolo a la izquierda del ápice de un coleóptilo

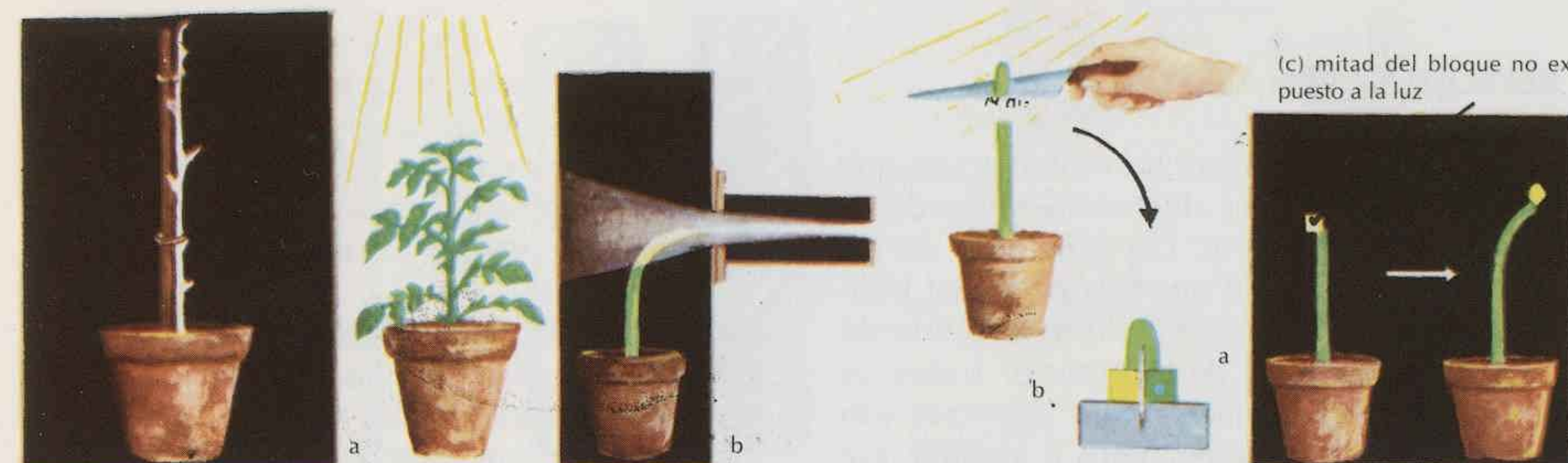
lo decapitado, pero no expuesto a la luz, entonces se observa una curvatura de éste hacia el lugar de iluminación del primer coleóptilo. En cuanto a la explicación del fenómeno, es que se produce una disminución de la sensibilidad del plasma para la auxina en las células de la zona iluminada, con un aumento en la zona sombreada, acompañado probablemente de una inactivación de la auxina bajo la acción de la luz.

El *geotropismo* hace que las plantas orienten sus raíces en la dirección de la plomada (geotropismo positivo) y sus tallos en sentido opuesto. La explicación del fenómeno geotrópico está en la presencia de la *auxina*, frente a la cual las raíces reaccionan de forma opuesta a los tallos, pues, en las primeras, una mayor concentración de hormona inhibe el crecimiento.

Las *nastias* son movimientos transitorios de ciertos órganos vegetales, orientados en relación con la organización de los mismos. Tenemos un ejemplo de ello en los movimientos *fotonásticos* de apertura y cierre de las flores.

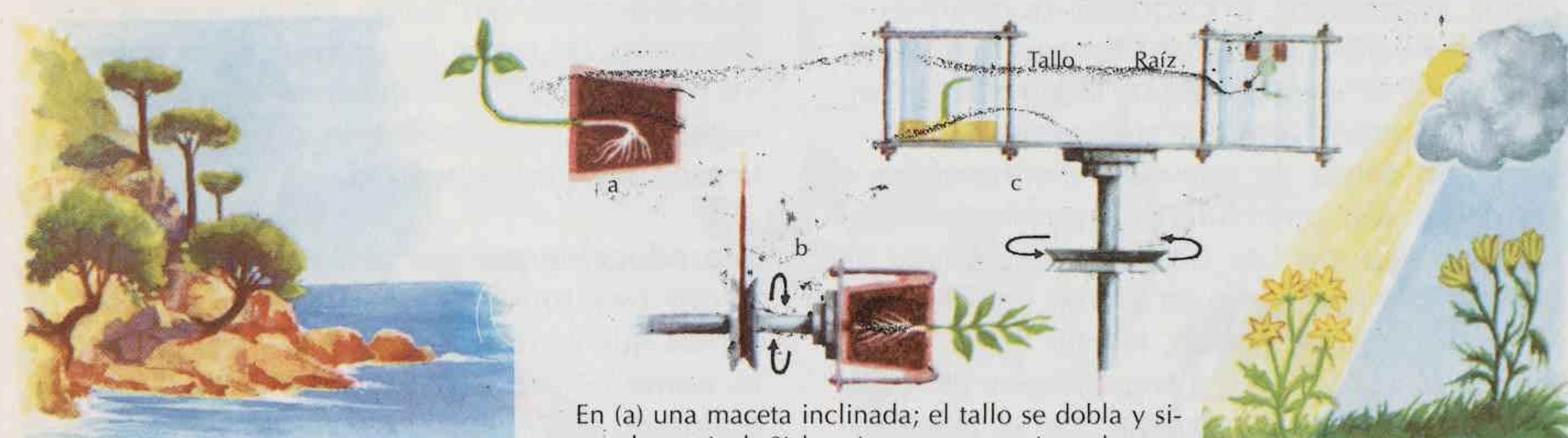
Desplazamiento de organismos unicelulares. — Cuando los estímulos de dirección determinan que el organismo se acerque o aleje del centro estimulante, los cambios de lugar se llaman *taxis*. Los *quimiotaxis* tienen gran importancia en la naturaleza, puesto que hacen posible el encuentro de las células sexuales, ya que la concentración de sustancias químicas segregadas por el óvulo atrae a los espermatozoides.

La *excitabilidad en los Metazoos* alcanza un gran desarrollo con la diferenciación de células especializadas en captar estímulos distintos, formando, en relación con un sistema nervioso, *órganos sensoriales* receptores del estímulo. Estas células hacen posibles las relaciones con el mundo exterior, cuya base es el *movimiento reflejo*, acto involuntario producido por la transformación de una excitación en reacción, con la intervención de varias neuronas (dos como mínimo). Cuando inconscientemente tocamos un objeto que quema, inmediatamente se produce la contracción de los músculos del brazo, que retira la mano: es un *movimiento reflejo*. El reflejo representa el *grado más simple de coordinación nerviosa*, en frase de Sherrington, y está en la base de la actividad de los Metazoos.



En la oscuridad (a) el tallo crece mucho, pero es débil; si en la oscuridad penetra un rayo de luz el tallo se dirige hacia allí (b).

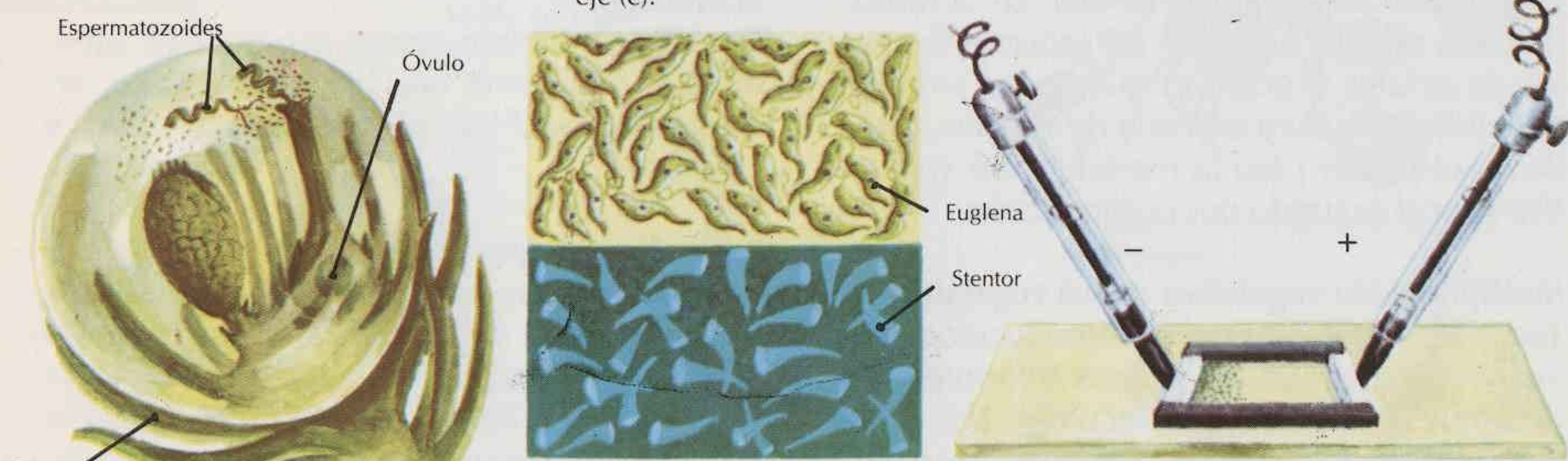
En (a) se ilumina lateralmente un coleóptilo de avena; en (b) se decapita y coloca sobre agar.



El tallo crece verticalmente en sentido contrario al de la gravedad.

En (a) una maceta inclinada; el tallo se dobla y sigue la vertical. Si la misma maceta gira sobre un eje horizontal (b) no se dobla, y si el giro se verifica sobre un eje vertical el tallo se dobla hacia el eje (c).

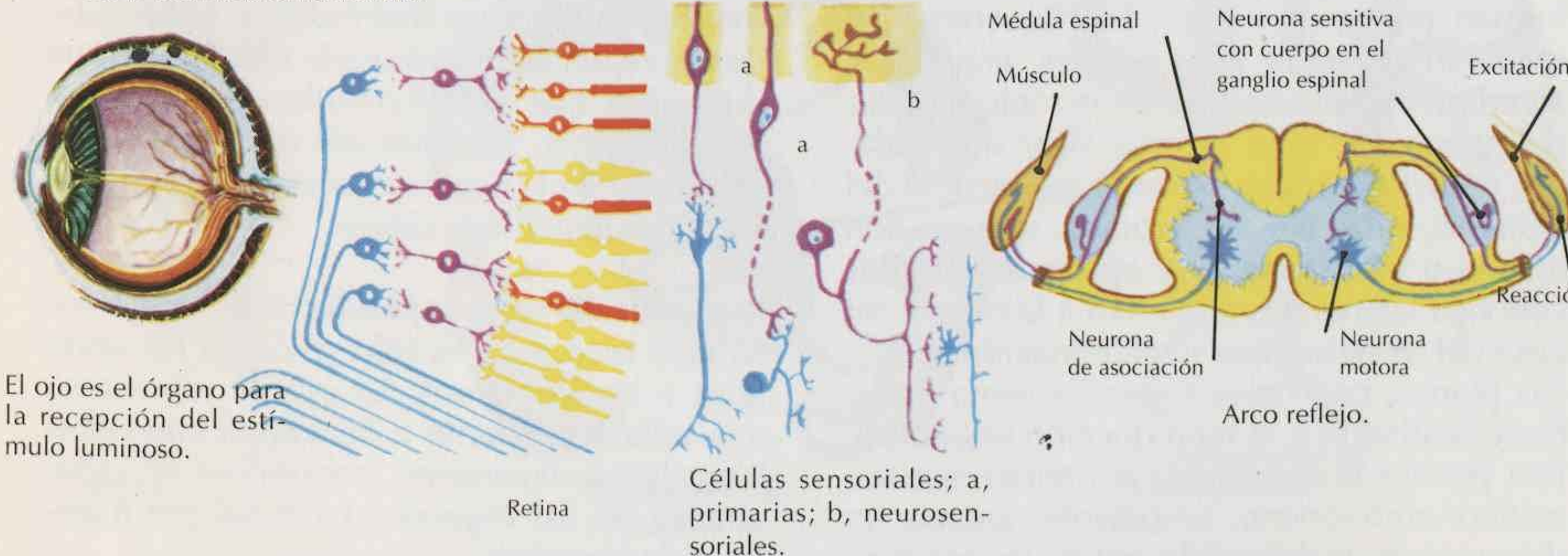
Movimientos fotonásticos de las flores.



Gracias a la quimiotaxis se realiza la fecundación del óvulo.

Fototaxis positiva de *Euglena* y negativa de *Stentor*.

Galvanotaxis negativa del *Paramecium*.



El ojo es el órgano para la recepción del estímulo luminoso.

Retina

Células sensoriales; a, primarias; b, neurosensoriales.

Arco reflejo.

Funciones de reproducción

REPRODUCCIÓN ASEXUAL

Los individuos alcanzan un momento en que sus funciones vitales decrecen, llegando finalmente a la muerte. Las funciones de reproducción permiten que una parte del individuo escape a la destrucción, asegurando así la supervivencia de la especie. Todas las células de los organismos más inferiores son capaces de reproducirse, pero a medida que las células se van diferenciando, se origina una división del trabajo, apareciendo los *órganos vegetativos*, encargados normalmente de la nutrición, y los *órganos reproductores*, a los que se encomiendan la formación de gérmenes especiales que se separan del cuerpo y son causa de nuevos individuos. Estos gérmenes son unicelulares y pueden ser gametos o esporas. Los órganos vegetativos es posible que adquieran en ciertas condiciones facultades reproductoras, dando lugar a gérmenes pluricelulares formados por un conjunto de células vegetativas que se desprenden y originan un nuevo ser.

Según los gérmenes producidos, la reproducción puede ser *asexual* o *sexual*. En la reproducción asexual el nuevo ser procede de masas de células vegetativas que hacen vida independiente o bien procede de esporas, siendo en el primer caso la reproducción *vegetativa* y en el segundo por *esporulación*.

Multiplicación vegetativa de los vegetales. — Todos los vegetales poseen reproducción asexual vegetativa. En las plantas inferiores tienen muy acentuada esta facultad. Los musgos producen porciones llamadas *propágulos*, los cuales se hallan constituidos por varias células vegetativas que se desprenden y forman un nuevo musgo. Los líquenes, que recubren las rocas y los árboles, engendran *soredios*, compuestos por un manojo de hifas del hongo con unas cuantas algas unicelulares, y ciertos hongos, como el cornezuelo del centeno, originan *esclerocios*, que no son más que una masa muy apretada de hifas con vida latente, las que están a la espera del paso del invierno para su germinación.

Las plantas con flores tienen la yema como brote destinado a la reproducción vegetativa. Esta yema está constituida por tejido meristemático, embrionario, totipotente, todavía no diferenciado y defendido por hojas escamo-

sas. La patata y la chufa forman abultamientos feculentos (tubérculos) en los extremos de sus tallos subterráneos. Los tubérculos llevan yemas (los llamados ojos) que, al desarrollarse, dan nacimiento a una nueva planta.

Multiplicación de los Metazoos. — Esta modalidad reproductora sólo se da en aquellos organismos cuyas células están poco diferenciadas o bien que poseen células embrionarias totipotentes. Parecidas condiciones se dan en las esponjas, celentéreos, gusanos y equinodermos, así como en las formas embrionarias de todos los animales, incluyendo los mamíferos. Las maneras de multiplicación vegetativa son la gemación o gemiparidad y la escisión o *escisiparidad*.

Reproducción por gemación. — En los Celentéreos hay muchas especies que producen yemas que se desprenden y viven activamente, como ocurre en la hidra de agua dulce. El poliqueto *Syllis ramosa* provoca yemas laterales que se convierten en sendos poliquetos, dando la impresión de una red de delgados filamentos.

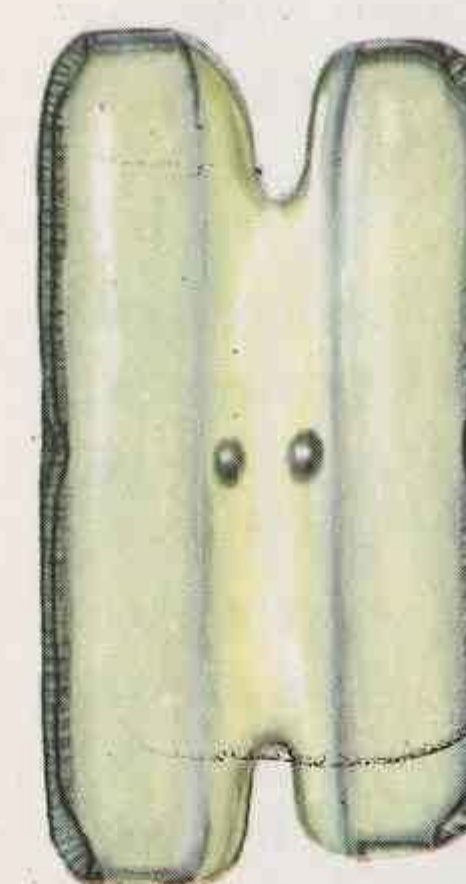
También se forman yemas que quedan adheridas al organismo que las ha originado, organizándose así las colonias de celentéreos y briozoos.

Reproducción por escisiparidad. — El animal se divide en dos partes, cada una de las cuales regenera la que falta. La división de los embriones o *poliembrionia*, descubierta por P. Marchal en 1898 en un himenóptero cuyos huevos se desenvuelven en las larvas de determinadas mariposas, es un fenómeno de gran interés biológico. Un embrión único se transforma en otros muchos por estrangulaciones repetidas, dando cada uno de ellos un individuo que se desarrolla dentro de un mismo huevo. Igual sucede en el armadillo (*Tatusia*) y en la especie humana; los gemelos idénticos tienen este origen.

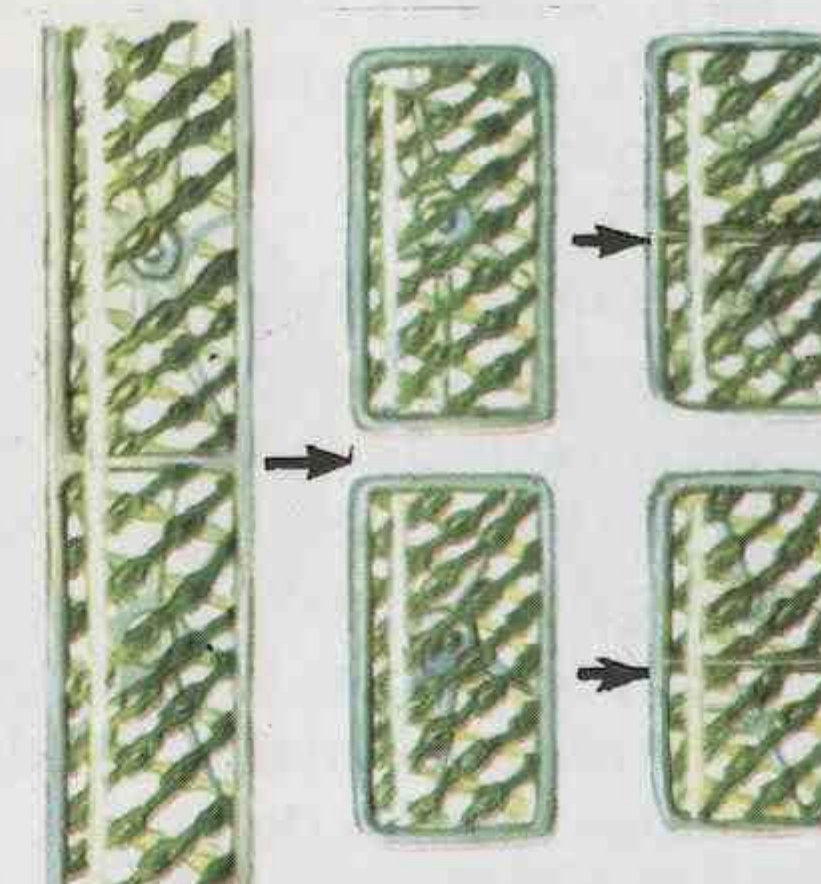
Reproducción por esporulación. — Esta modalidad reproductora sólo se da en los vegetales y los Protozoos. La espora representa una célula resistente a las condiciones ambientales desfavorables, formándose en *esporangios*, en los vegetales. La móvil por flagelos es la *zoospora*.

Reproducción asexual

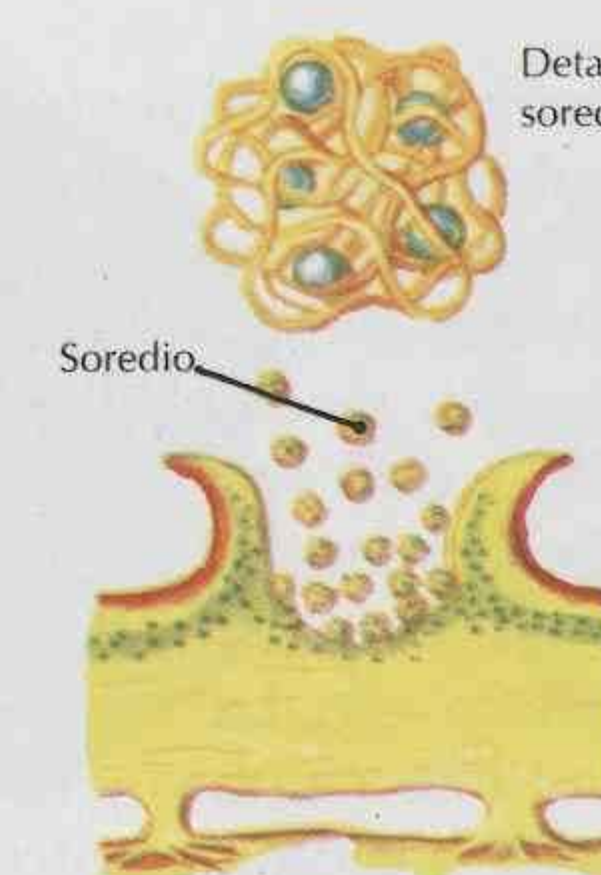
1/1



Bipartición del citoplasma en una diatomea.



División del alga Spirogyra.



Formación de soredios en un líquen.

Detalle de un soredio



Germinación de un esclerocio

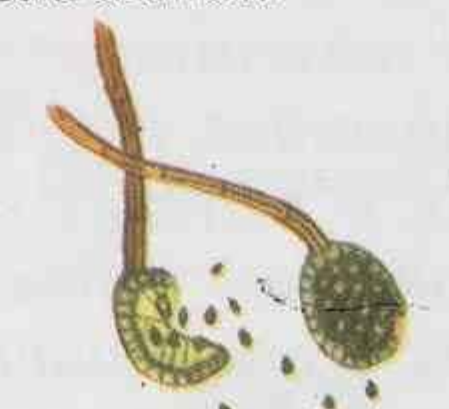
Centeno atacado por el cornezuelo.



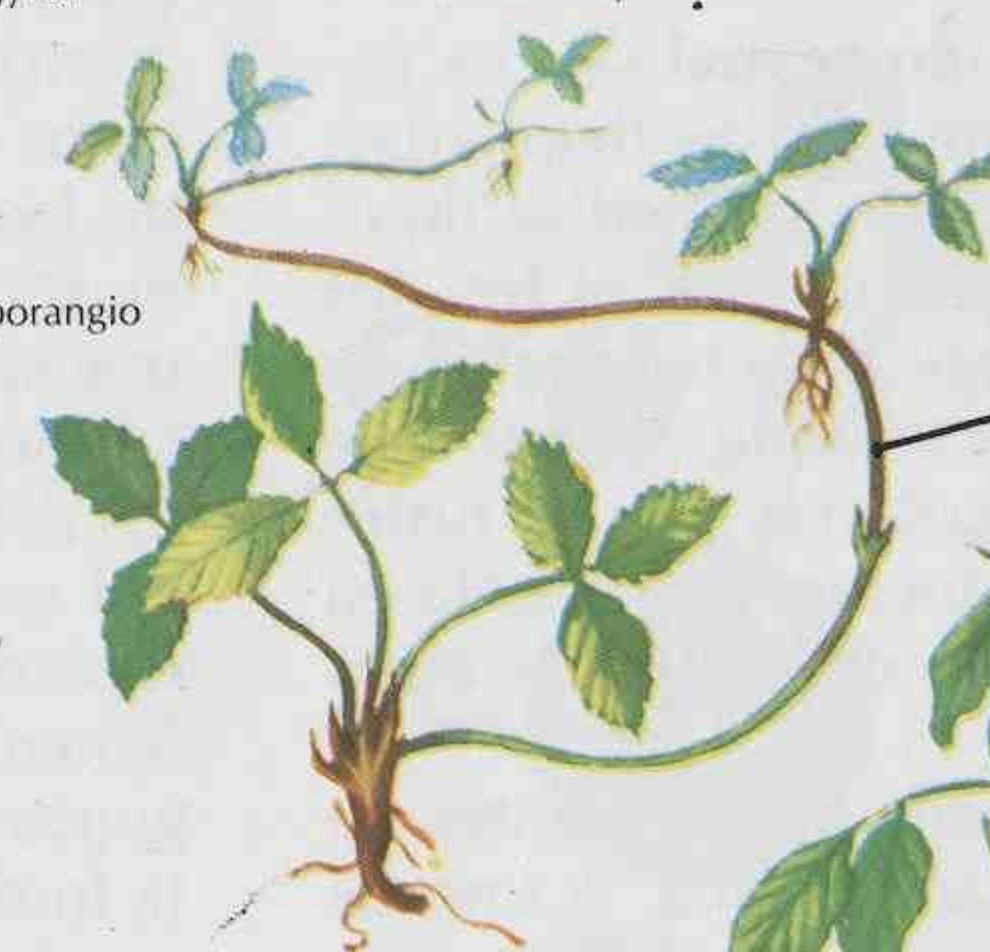
Hojas de helecho con soros en su envés.



Corte de un soro



Esporangios soltando las esporas.



Fresal



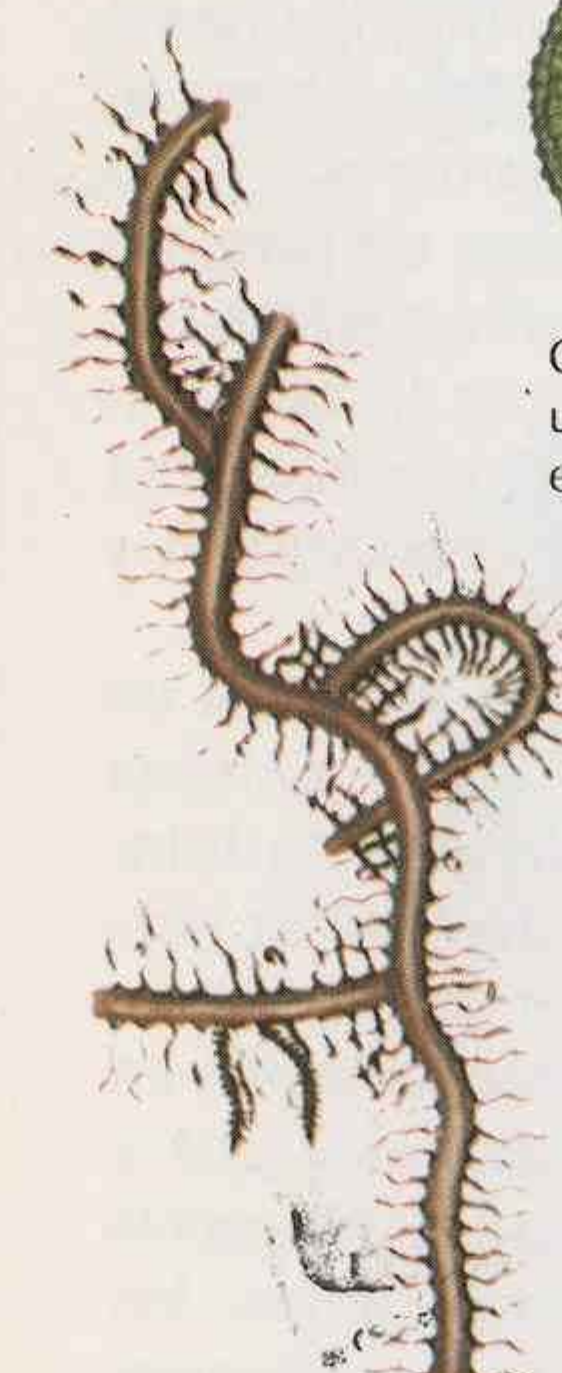
Reproducción asexual de la patata.



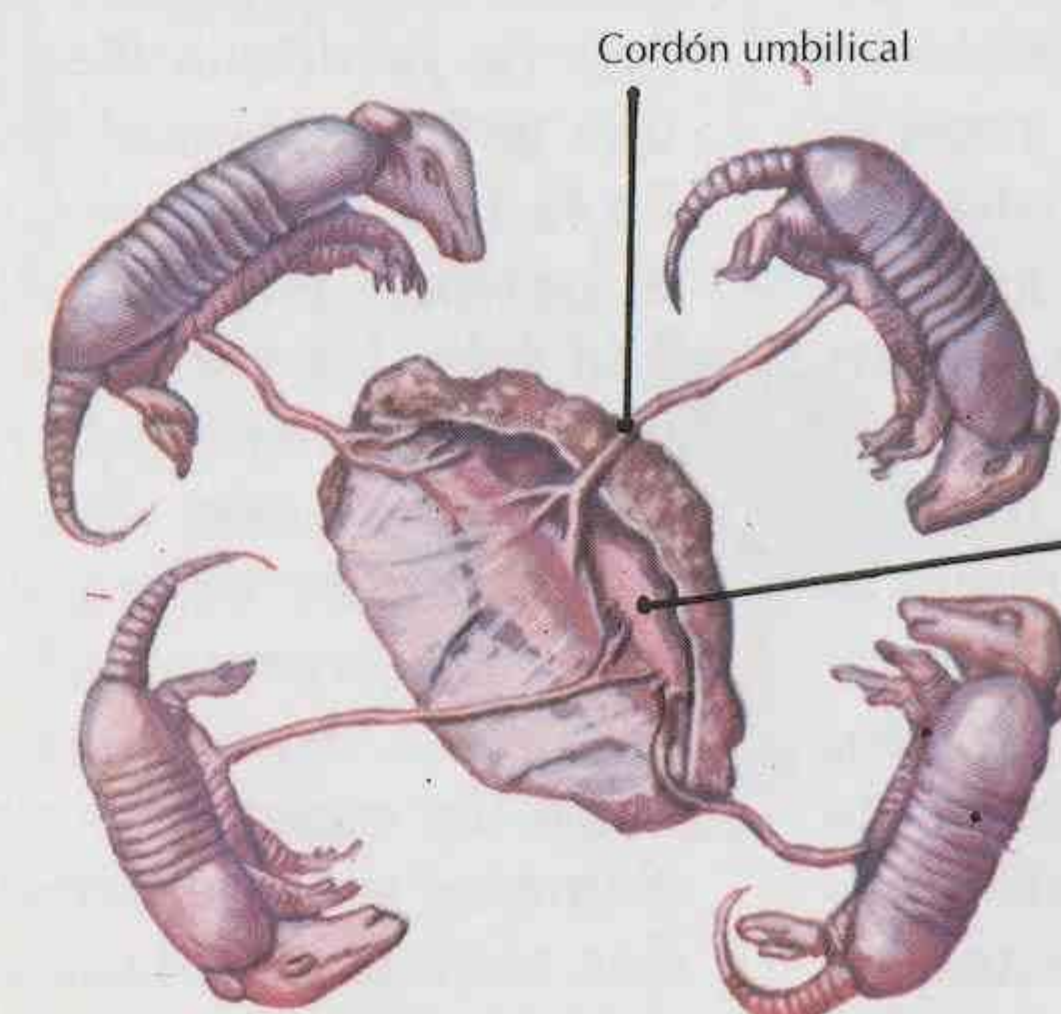
Esqueje.



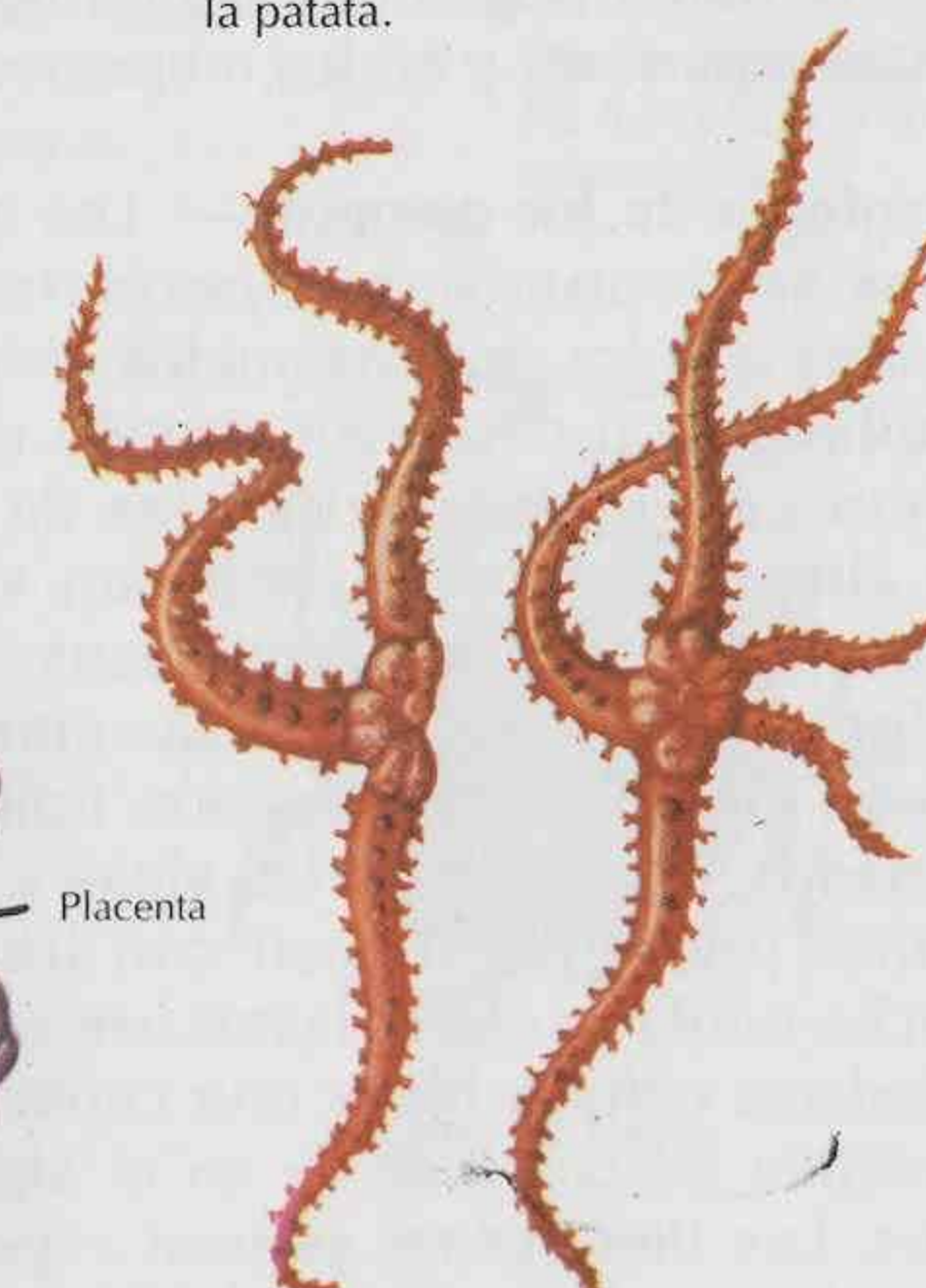
Germinación de una gémula de esponja.



Reproducción del poliqueto *Syllis ramosa*.



Poliembriónia del armadillo.



Escisiparidad en los equinodermos.

REPRODUCCIÓN SEXUAL

Los individuos que poseen reproducción sexual producen normalmente dos clases de células germinativas llamadas *gametos*, que no pueden desarrollarse directamente, como sucede en las esporas, sino que han de fusionarse la una con la otra en un acto llamado fecundación. Solamente la célula producto de la fusión, llamada *zigoto*, se desarrolla dando un nuevo ser. La reproducción sexual permite el intercambio y recombinación del material biológico entre los individuos.

Clases de reproducción sexual.— Los gametos son típicamente células flageladas, capaces de desplazarse en los medios líquidos para permitir el encuentro. Si los dos gametos son morfológicamente iguales, la reproducción es por *isogamia*, llamándose *isogametos* a las dos células que se fusionan. Esta forma reproductora se presenta en algunos protozoos y en determinadas algas y hongos.

Cuando los dos gametos son diferentes, la reproducción es por *anisogamia*. A uno de ellos, el más grande, se le llama macrogameto o *gameto femenino*, mientras que el otro es diminuto y de gran movilidad, designándosele por microgameto o *gameto masculino*. La anisogamia extrema, caso de que el gameto esté muy desarrollado y sea sedentario por carecer de órganos locomotores, se llama *oogamia* y tiene lugar en las plantas superiores y en los metazoos.

Morfología de los gametos.— Los microgametos se denominan *espermatozoides*, mientras que los macrogametos, *óvulos*. Estos últimos son de mayor tamaño debido a la gran cantidad de sustancias de reserva que almacenan, alcanzando un volumen extraordinario en algunos casos; así, los óvulos de las aves son las yemas de los huevos. Los microgametos son típicamente flagelados, viéndose en las algas y musgos los más primitivos; tienen con frecuencia mancha ocular y cloroplastos, siendo, pues, verdaderas células libres con capacidad fotosintética tal como se ve en el alga parda *Fucus*. Las Pteridófitas poseen espermatozoides con muchos flagelos dispuestos en espiral, mientras que las algas rojas y las Fanerógamas cuentan con espermatozoides sin órganos locomotores, pudiendo actuar

estos últimos gracias a unos dispositivos que, como el *tubo polínico*, ponen directamente el espermatozoide en contacto con el óvulo.

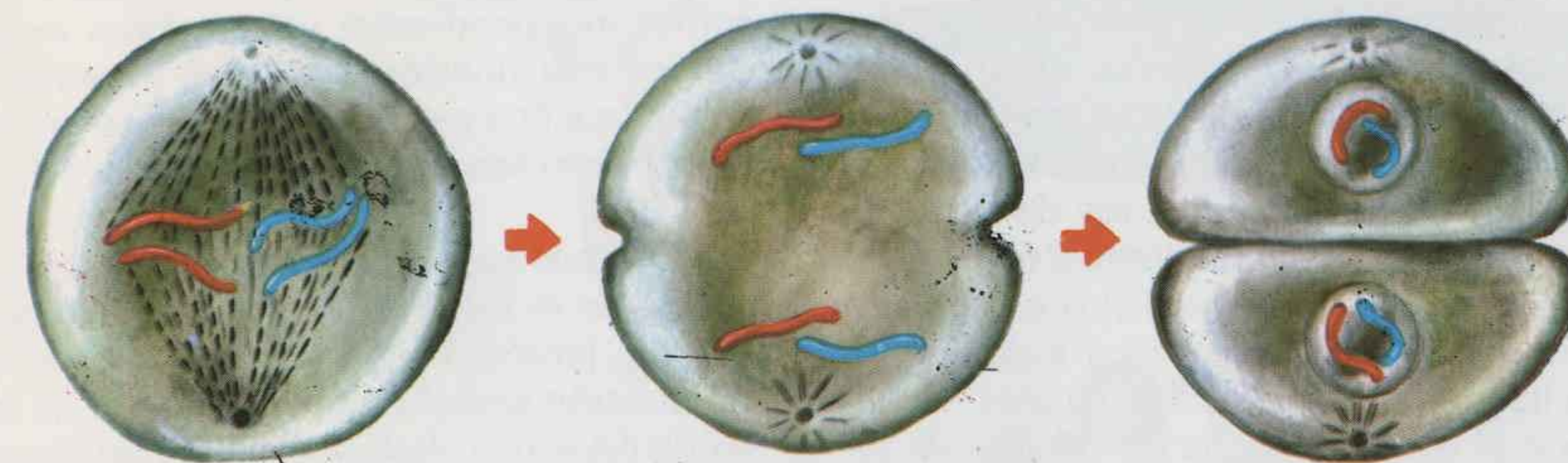
Órganos sexuales y sexo.— Los gametos de los organismos pluricelulares se forman en órganos especiales llamados *gametangios* en los vegetales y *gónadas* en los animales. Los gametangios masculinos se denominan *anteridios*, y los femeninos, *oogonios* cuando son unicelulares, es decir, simplemente células madres de óvulos, siendo exclusivos de las talófitas. En los restantes vegetales reciben el nombre de *arquegonios*, órganos pluricelulares que tienen un óvulo en su interior y que presentan típicamente aspecto de botella. En los Metazoos las gónadas masculinas se llaman *testículos*, mientras que las femeninas son los *ovarios*.

La formación de una clase u otra de gametos determina el sexo de los individuos. Los del sexo masculino, o machos, producen espermatozoides, mientras que los del sexo femenino, o hembras, originan óvulos. Algunos animales, como el caracol terrestre, la lombriz y la sanguijuela, dan ambas clases de gametos, así como la mayoría de las plantas con flores, diciéndose entonces que son *hermafroditas*.

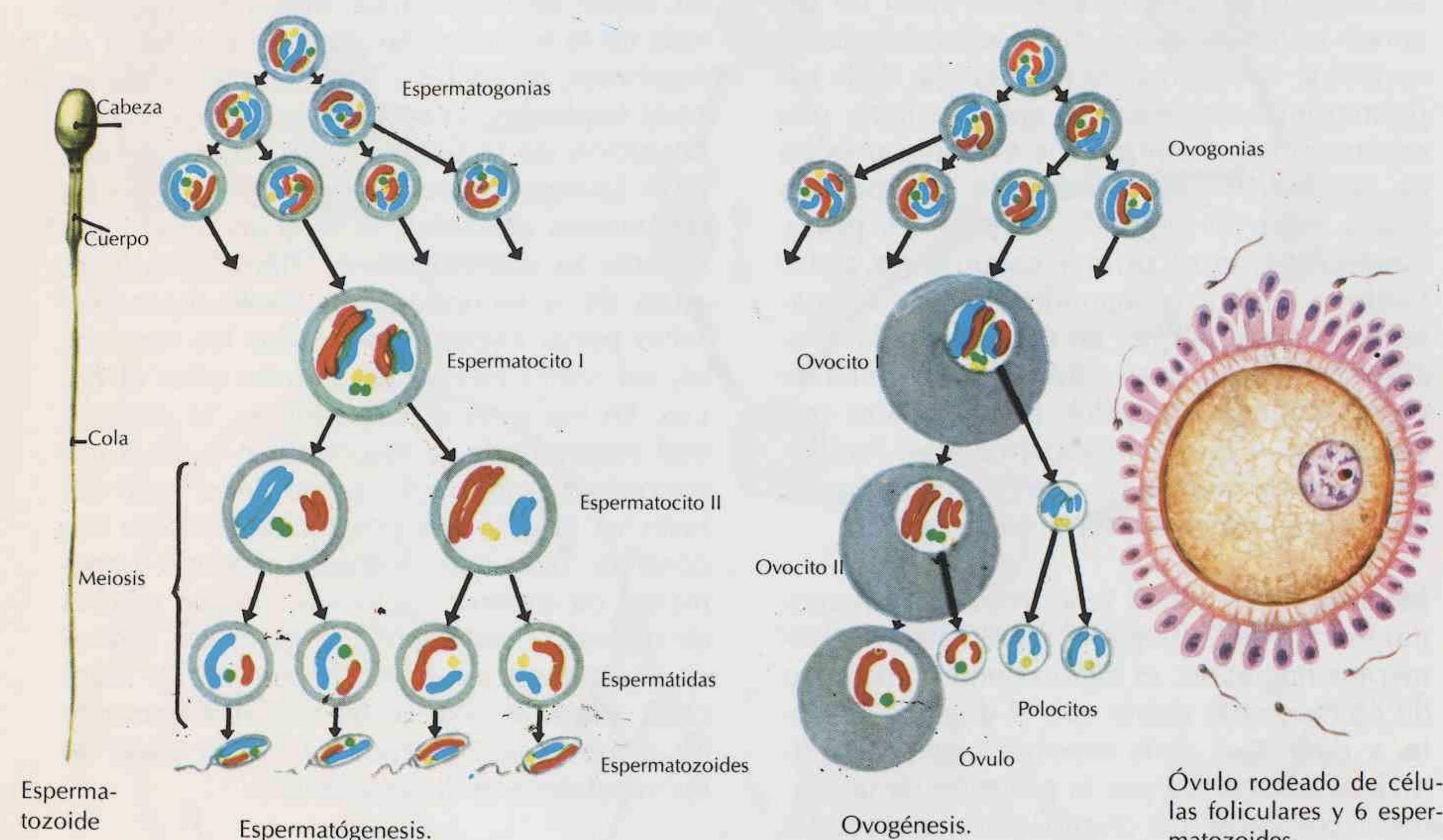
Formación de los gametos.— Las gónadas poseen un *epitelio germinativo* con células llamadas *gonias*, iguales morfológicamente en los dos sexos (espermatogonias en el macho y ovogonias en las hembras); estas células originan los gametos por un proceso llamado *gametogénesis* (espermatogénesis y ovogénesis). Tanto la una como la otra son procesos homólogos, distinguiéndose una fase de *proliferación*, otra de *crecimiento* y una tercera de *maduración*.

En la fase de *proliferación*, que se inicia en el período embrionario y a veces termina con éste, las gonias se van dividiendo ininterrumpidamente por medio de mitosis normales. En la fase de *crecimiento*, las gonias aumentan de volumen, transformándose en *citos de primer orden* (*espermatoцитos* y *ovocitos*). Aquí ya se aprecian diferencias entre los espermatoцитos y los ovocitos: los primeros son de menor tamaño y los segundos tienen citoplasma y una mayor cantidad de vitelo nutritivo.

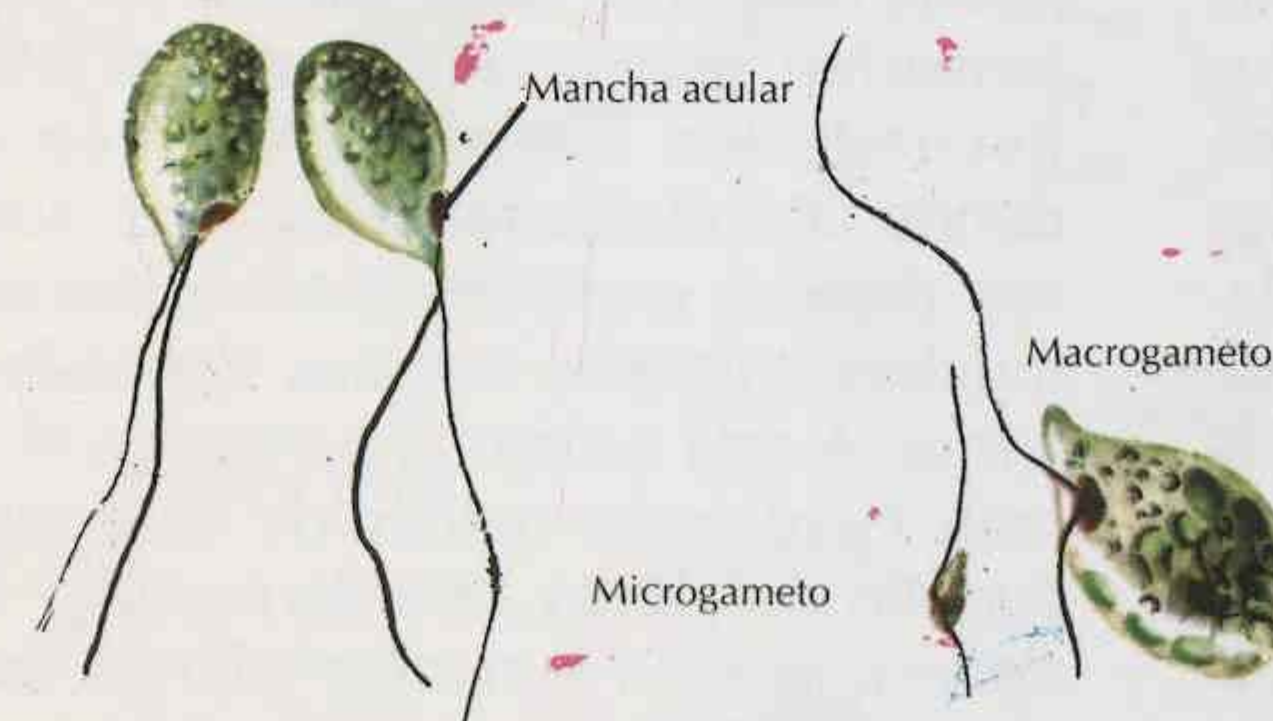
El *período de maduración* se caracteriza por la reducción a la mitad del número de



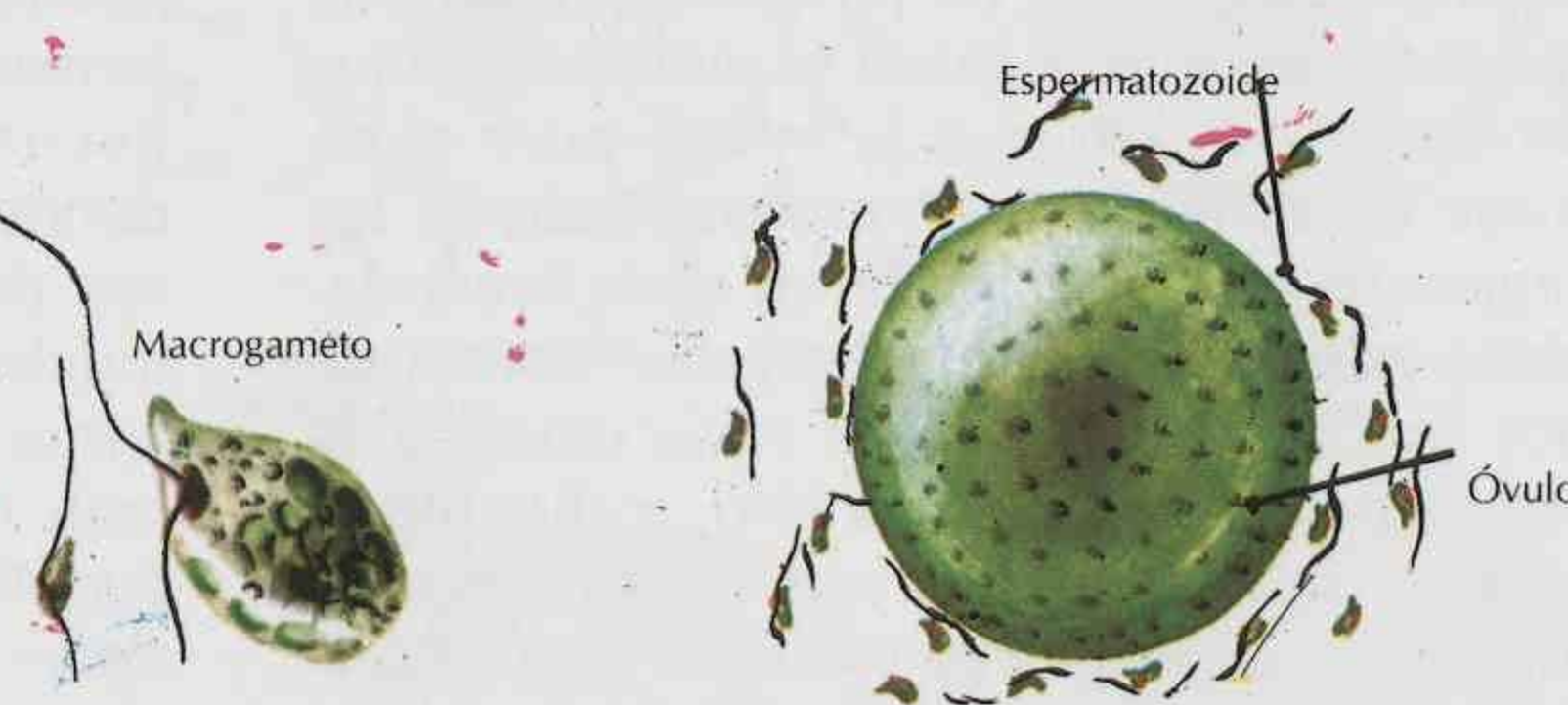
La mitosis reduccional de la meiosis se caracteriza porque en la metafase los cromosomas se disponen por pares homólogos.



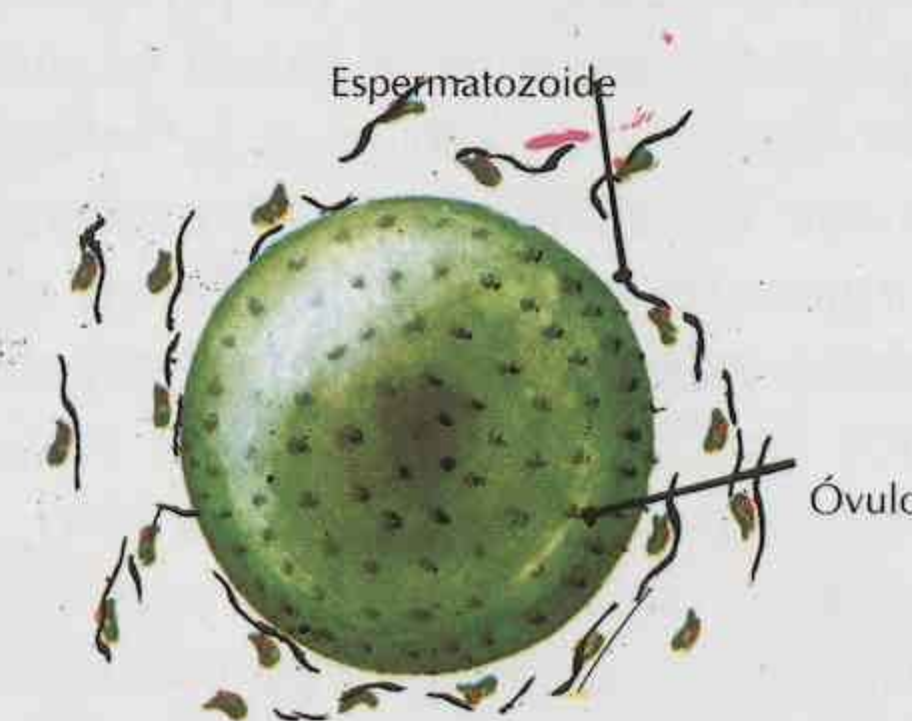
Espermatozoide



Isogamia en el alga *Ulothrix*.



Anisogamia en el alga *Cutleria*.



Oogamia en *Fucus*.

cromosomas. Los citos de primer orden son células con un número par de cromosomas (células diploides), dando cada uno, en dos divisiones meióticas sucesivas, cuatro células haploides con la mitad de cromosomas. La primera mitosis meiótica origina de cada cito de primer orden dos citos de segundo orden, pero hay ya una diferencia en el comportamiento a partir de aquí: los espermatozoides de primer orden dan lugar a dos espermatozoides de segundo orden iguales, mientras que el ovocito origina un *ovocito de segundo orden* que se lleva la mayor parte del contenido citoplasmático, más un primer *corpúsculo polar* que es un ovocito de segundo orden abortado. En la segunda mitosis meiótica, que se realiza en seguida, cada espermatozoides de segundo orden origina dos espermátidas, mientras que el único ovocito de segundo orden producido provoca un óvulo, más un segundo corpúsculo polar. Generalmente el primer corpúsculo polar también realiza la segunda división de maduración, por lo que, en total, de cada ovocito de primer orden, diploide, se obtienen cuatro células haploides, de las cuales tres degeneran. Las cuatro espermátidas, haploides, se transforman en espermatozoides por un proceso llamado *espermioogénesis*.

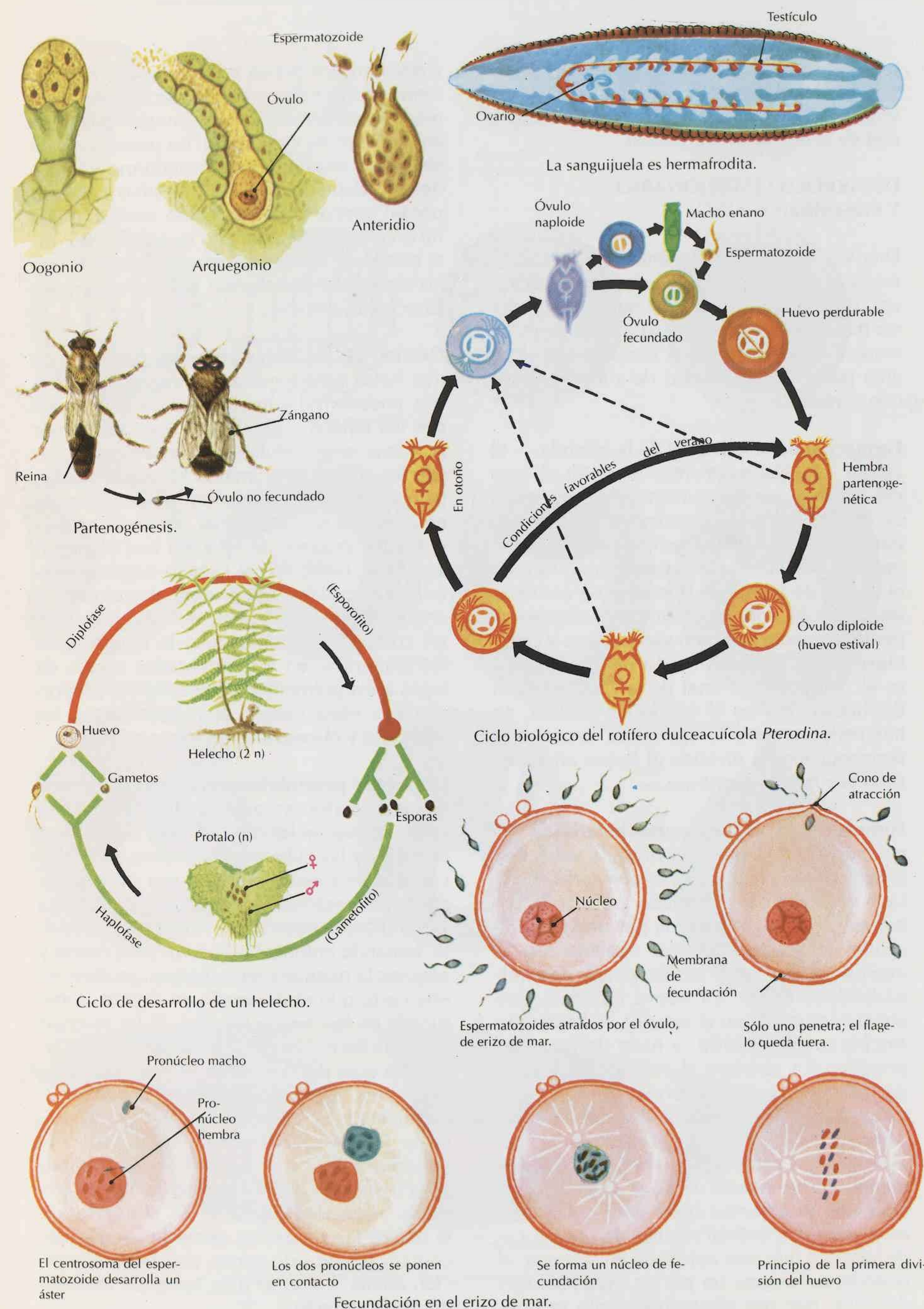
Meyosis.— Ya que el fenómeno de la fecundación lleva consigo la fusión de los elementos nucleares, el cigoto tiene un número de cromosomas doble que el de cada gameto, y dado que cada especie, vegetal o animal, se caracteriza por la posesión de un número constante de cromosomas, necesariamente, en el ciclo biológico de cada organismo, ha de haber un proceso opuesto a la fecundación que reduzca el número de cromosomas del cigoto a la mitad, pues si no fuese así el número de cromosomas de los organismos se duplicaría en cada fecundación; este proceso es la *meiosis*. Consta de dos mitosis, la primera es *reduccional* y la segunda *ecuacional*. Para ello, y durante la profase, se disponen los cromosomas homólogos (uno de origen paterno y el otro de origen materno) por parejas, al mismo tiempo que se escinden en dos cromátidas; en la anafase cada cromosoma de la pareja se dirige hacia un polo de la célula, por lo que en la telofase las dos células hijas (espermatozoides II u ovocitos II) tienen n cromosomas, o sea la mitad de la célula madre; cada cromosoma sigue dividido en dos cromátidas,

que en la anafase de la mitosis siguiente, realizada en seguida, se separan como cromosomas independientes y las células originadas en esta división, llamadas *espermátidas* en los machos y *óvulos maduros* en las hembras, tienen también n cromosomas.

Organismos haplontes y diplontes.— La presencia de la *fecundación* y de la *meiosis* en el ciclo biológico de los organismos con reproducción sexual permite distinguir en la vida de éstos una *diplofase*, en la que sus células son diploides, y una *haplofase*, en la que son haploides. Como que la meiosis se realiza, según los organismos, más o menos separada de la fecundación, éstos se clasifican en *haplontes*, *diplontes* y *diplohaplontes*. En los seres haplontes, la meiosis se verifica a continuación de la fecundación, como sucede en la *Spirogyra* y otras algas inferiores. En los organismos diplontes, la meiosis tiene lugar durante la gametogénesis, inmediatamente antes de la fecundación, siendo diplontes, salvo pocas excepciones, todos los Metazoos, así como ciertas algas, entre ellas el *Fucus*. En los seres diplohaplontes, la meiosis está separada de la fecundación y de la gametogénesis. El cigoto, como en el caso del helecho, origina una generación diploide (esporofito), pero que en vez de producir gametocitos da *esporocitos*, o sea, *células madres de esporas*. Cada espota, al germinar, produce una generación haploide (protalo de helecho), sobre la cual se forman directamente los gametos (gametofito). La mayor parte de los vegetales son diplohaplontes.

La fecundación.— La fusión de los gametos puede realizarse en el interior del organismo femenino, como sucede en los Mamíferos (fecundación interna), o bien en el agua, donde las células sexuales, muy numerosas, son dejadas en libertad, tal como ocurre en muchos animales marinos (fecundación externa). A esta categoría pertenece el erizo de mar, cuyo espermatozoides se dirige al encuentro del óvulo, atraído por una *hormona de fecundación femenina* y cuyos detalles se ven en la lámina.

La partenogénesis.— El desarrollo del óvulo, dando un nuevo individuo, está ligado, en general, a su fecundación; sin embargo, se ha visto que, tanto en los vegetales como en los animales, el óvulo puede desarrollarse sin el concurso del espermatozoides, fenómeno



Desarrollo de los animales y vegetales

meno que se llama *partenogénesis*, palabra que etimológicamente significa concepción virginal y que representa una curiosa modalidad de la reproducción sexual.

DESARROLLO EMBRIONARIO Y POSEMBRIONARIO

Una vez realizada la fecundación, el cigoto empieza su desarrollo por divisiones sucesivas, originando un *embrión* que, por ulteriores transformaciones, origina el nuevo ser. La manera de segmentarse el huevo depende en gran parte de la cantidad de vitelo nutritivo que contiene.

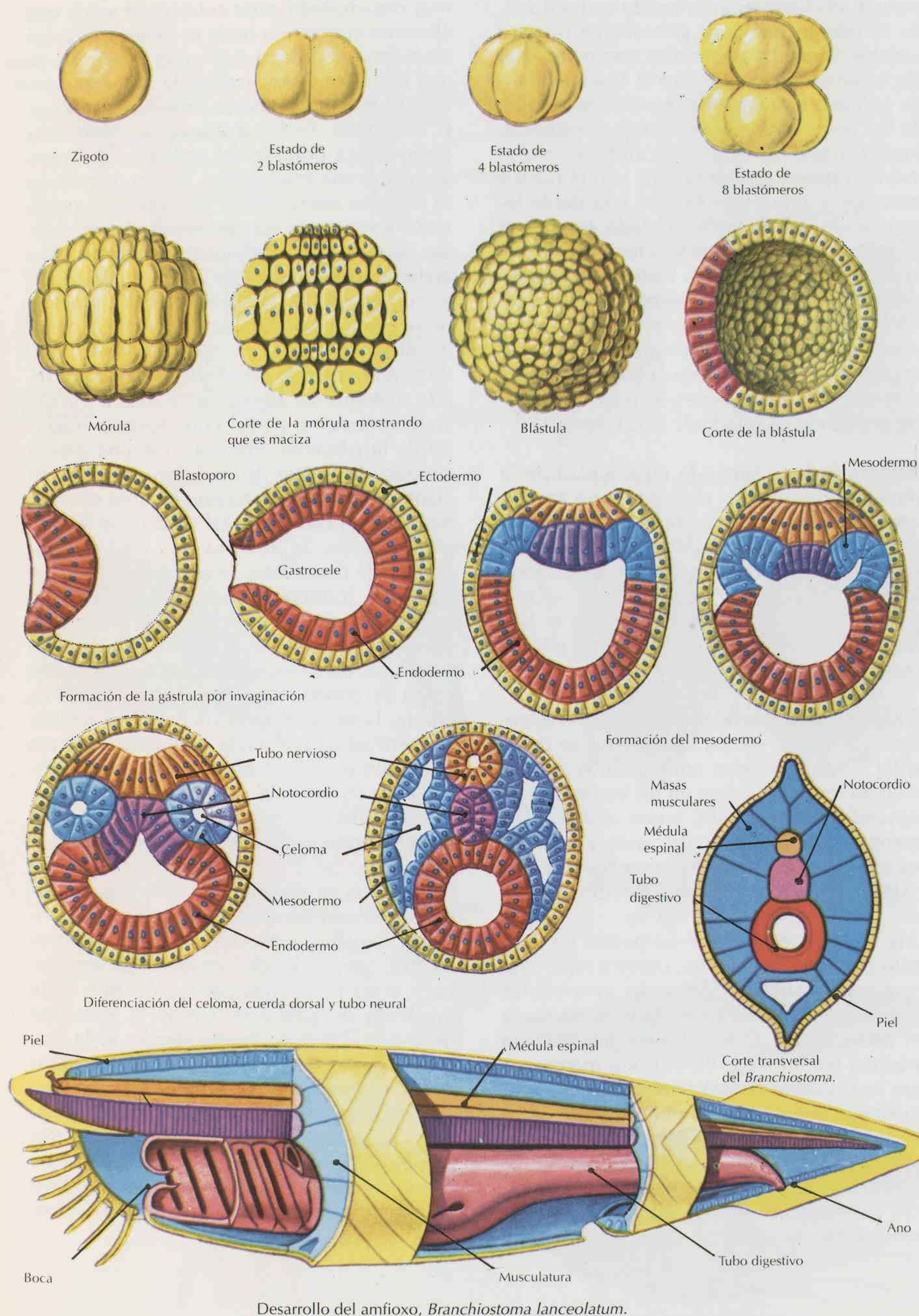
Formación de la mórula y de la blástula.— El cigoto inicia su segmentación y, en el caso del amfioxo, queda convertido en una masa de células llamadas *blastómeros* que, por su parecido a una mora, recibe el nombre de *mórula*. A continuación aparece un hueco en el centro de la mórula, formándose entonces una *blástula*, con los blastómeros dispuestos periféricamente en una o varias capas y constituyendo el *blastodermo*. La cavidad interna es el *blastocelo*. El final de la segmentación del huevo cesa en el estado de blástula, no habiendo aumentado apenas su tamaño. La segmentación ha dividido al huevo en partes cada vez más pequeñas.

Formación de las hojas embrionarias.— Siguiendo su desarrollo, la blástula sufre una invaginación, por lo que se convierte en un saco de doble pared llamado *gástrula*: la pared externa está constituida por una capa de células llamada *ectodermo*, mientras que la interna está formada por otra capa denominada *endodermo*. La nueva cavidad, que ahora comunica con el exterior, se llama *gastrocele* o *arquerterón*, y hace de intestino primitivo. La abertura al exterior se designa por *blastoporo*. Con la formación de la gástrula, el embrión consta de dos hojas blastodérmicas: el ectodermo y el endodermo. Las esponjas y Celentéreos alcanzan la forma adulta en este estado de desarrollo. En otros animales, el embrión sigue desarrollándose; en el amfioxo, animal marino de unos 7 cm de longitud que vive enterrado en la arena, el endodermo origina un par de evaginaciones dorsales, que por estrangulamiento se con-

vierten en dos bolsas a los lados del cuerpo, formando la tercera hoja blastodérmica, llamada *mesodermo*, con la *cavidad celómica* en el centro de cada bolsa; las paredes de estas bolsas se unen con el ectodermo y endodermo, dejando el tubo digestivo rodeado por un hueco, conocido como *cavidad general* o *celoma*. Los animales que pasan por este estado se llaman *celomados*, mientras que las esponjas y pólipos son *celenterados*, pues carecen de celoma.

Destino de las hojas embrionarias.— Estas tres hojas embrionarias primitivas, *ectodermo*, *endodermo* y *mesodermo*, originarán todos los tejidos y órganos del ser adulto por proliferaciones celulares y plegamientos. Según los grupos de animales, variará el detalle, pero en todos el ectodermo, originariamente en contacto con el exterior, forma la epidermis y los órganos de relación con el medio ambiente, como son el *sistema nervioso central* y las *células sensoriales*; el endodermo origina la parte absorbente del tubo digestivo, así como las glándulas para la digestión de los alimentos; en los vertebrados aéreos da lugar a los pulmones. El mesodermo proporciona la musculatura, aparato excretor, las gónadas y el esqueleto de los vertebrados.

Desarrollo posembriionario.— Los embriones de los animales ovíparos, una vez han consumido las sustancias nutritivas del huevo, han de salir de las cubiertas del mismo para buscar alimento. Si las reservas son muy abundantes, el desarrollo embrionario se prolonga y el individuo nace ya con la forma del adulto, tomando entonces alimentos para crecer y adquirir la madurez reproductora: se dice, en este caso, que el desarrollo es *directo*, como sucede en las Aves y Reptiles. Si las reservas alimenticias del huevo son consumidas en fases precoces del desarrollo, el embrión ha de hacer vida libre, *naciendo* en forma de *larva*, produciéndose, entonces, el desarrollo *indirecto*. El estado adulto se llama *imago*, y la transformación de la larva en imago constituye la *metamorfosis*. Los embriones de los animales *vivíparos* encuentran en el interior de la madre las sustancias alimenticias que necesitan, por lo que nacen con la configuración adulta, como se dijo, teniendo también desarrollo directo.



Desarrollo del amfioxo, *Branchiostoma lanceolatum*.

El embrión en los vegetales.— En las angiospermas, el ovario está contenido en las flores. En su interior hay unos gránulos en número variable llamados *primordios seminales*, que encierran un *saco embrionario*. Cuando el tubo polínico ha penetrado hasta el micropilo, de los dos *núcleos espermáticos* o *espermatozoides* que lleva, uno fecunda al óvulo, mientras que el otro se fusiona con el núcleo secundario, produciéndose así una doble fecundación. El óvulo fecundado origina el *embrión*, mientras que la otra fecundación da lugar a un tejido nutritivo llamado *endosperma*. El primordio seminal se transforma en *semilla*. El embrión, en un principio, es un cuerpo redondeado y pluricelular; más tarde se diferencia en una *radícula* (parte que mira al micropilo), *cotiledones* y el *punto vegetativo*, quedando en estado de vida latente.

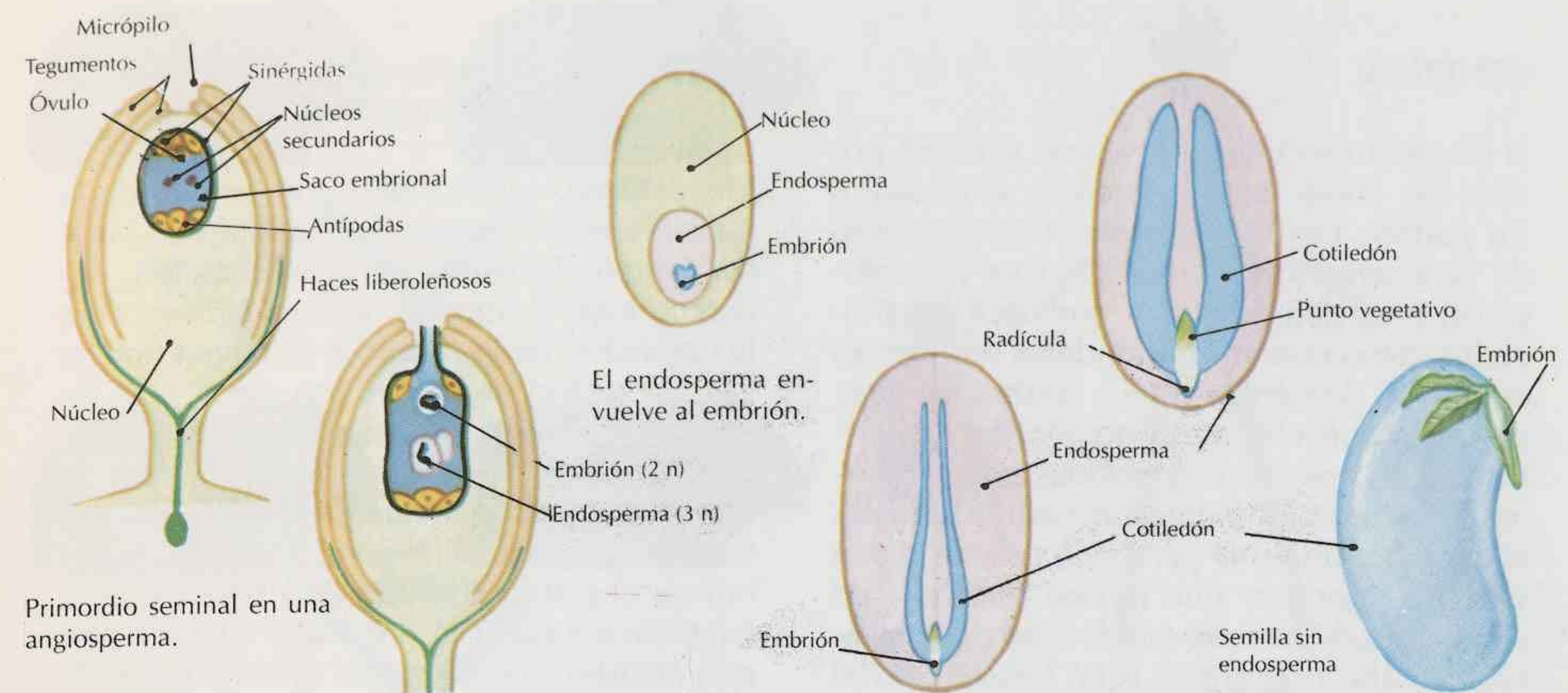
Metamorfosis.— Según la continuidad de la alimentación, pueden distinguirse en las larvas dos clases de metamorfosis: la *sencilla*, por la que la larva se transforma en adulto sin dejar de alimentarse ni pasar por un período de inactividad, como ocurre en las ranas y saltamontes, y la *complicada*, en que hay una fase intermedia entre la de larva y la de imago.

El huevo y sus dependencias en los vertebrados.— El huevo de los vertebrados se desarrolla sin formaciones embrionarias anejas, tanto en los peces como en los batracios, designándoseles, por ello, como *anamniotas*, mientras que en los reptiles, aves y mamíferos está protegido por unas membranas especiales, llamándose a estos animales *amniotas*.

Una vez que el óvulo se ha puesto en contacto con la pared uterina, penetra en la mucosa que la reviste, formando membranas protectoras y que le sirven para implantarse en dicha pared. El ectodermo del embrión produce por su parte ventral una membrana que le envuelve completamente, el *amnios*, quedando una cavidad amniótica entre ella y el embrión, la cual está llena de un *líquido amniótico* que sirve de amortiguador de los golpes. También, en la futura región abdominal, se originan dos membranas, debidas principalmente al endodermo; una forma el

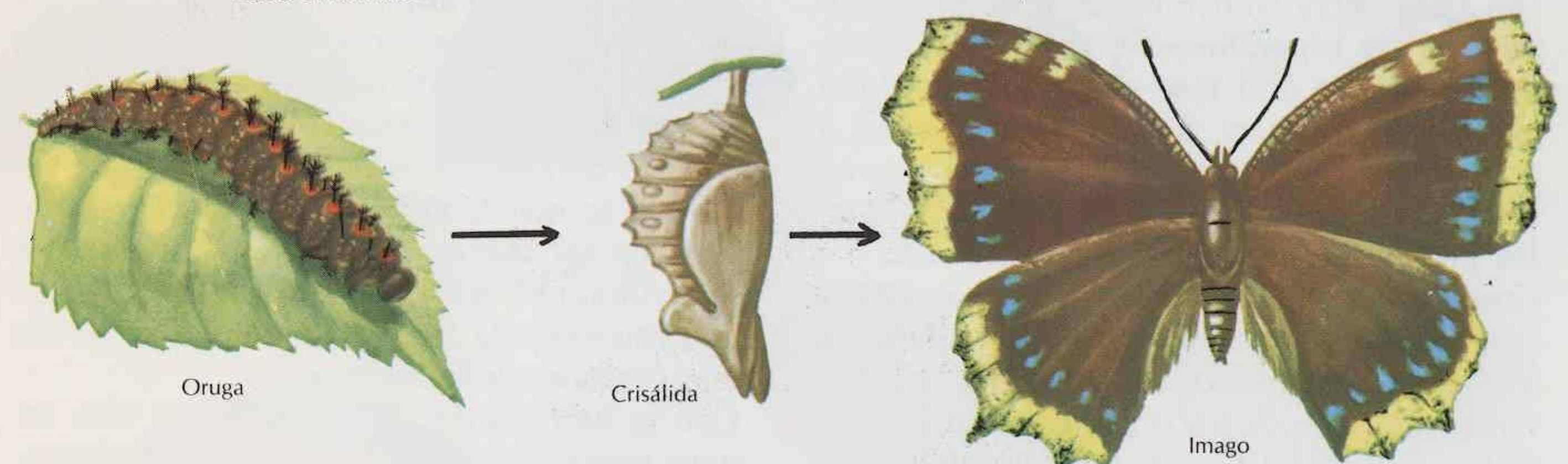
saco vitelino, que en los reptiles y aves está muy desarrollado, pues contiene la yema que alimenta al embrión hasta su eclosión. En los mamíferos, este saco está vacío y cerrado, ya que la madre se encarga de la alimentación. La otra membrana forma también una bolsa, el *alantoides*. En los reptiles y aves funciona como vejiga urinaria del embrión, así como de membrana respiratoria. En los mamíferos se pone en contacto con la placenta y posee vasos sanguíneos que permiten el intercambio de sustancias con las paredes del útero materno, desarrollándose además una membrana, el *corion*, que envuelve a todas las otras estructuras. En contacto con la pared del útero aparece la *placenta*, cuerpo formado tanto por tejido embrionario como por tejido materno. La sangre de la madre circula abundantemente por el constituyente materno de la *placenta*, mientras que una arteria conduce la sangre del embrión siguiendo el *alantoides* y se capilariza en la parte embrionaria de la placenta de tal modo que las dos circulaciones, la materna y la fetal (al embrión se le llama *feto*), se acercan, pero no se mezclan, intercambiando sustancias, toda vez que la sangre materna cede oxígeno y alimentos, llevándose el gas carbónico y los productos de la excreción. Una vena se encarga de conducir la sangre al embrión. La arteria, la vena, el saco vitelino y el *alantoides*, envueltos por tejido conjuntivo, forman el *cordón umbilical*; éste representa el puente de unión entre la placenta y el embrión. Después del nacimiento, la cicatriz dejada por el cordón umbilical constituye el ombligo.

La placenta se especializa como órgano endocrino. En el hombre, durante las doce primeras semanas, elabora pequeñas, pero crecientes, cantidades de *estrógeno*, *progesterona* y otras hormonas, secreción que hace mantener durante este tiempo la actividad del ovario. Después de este tiempo, es la propia placenta, que ya ha alcanzado su desarrollo, la que controla, debido a la producción de *progesterona*, el progreso de la gravidez. De aquí el peligro de aborto en los tres primeros meses, si se da la coincidencia de que el ovario, por alguna razón, no produce progesterona, y la placenta se retrasa un poco en alcanzar la madurez.

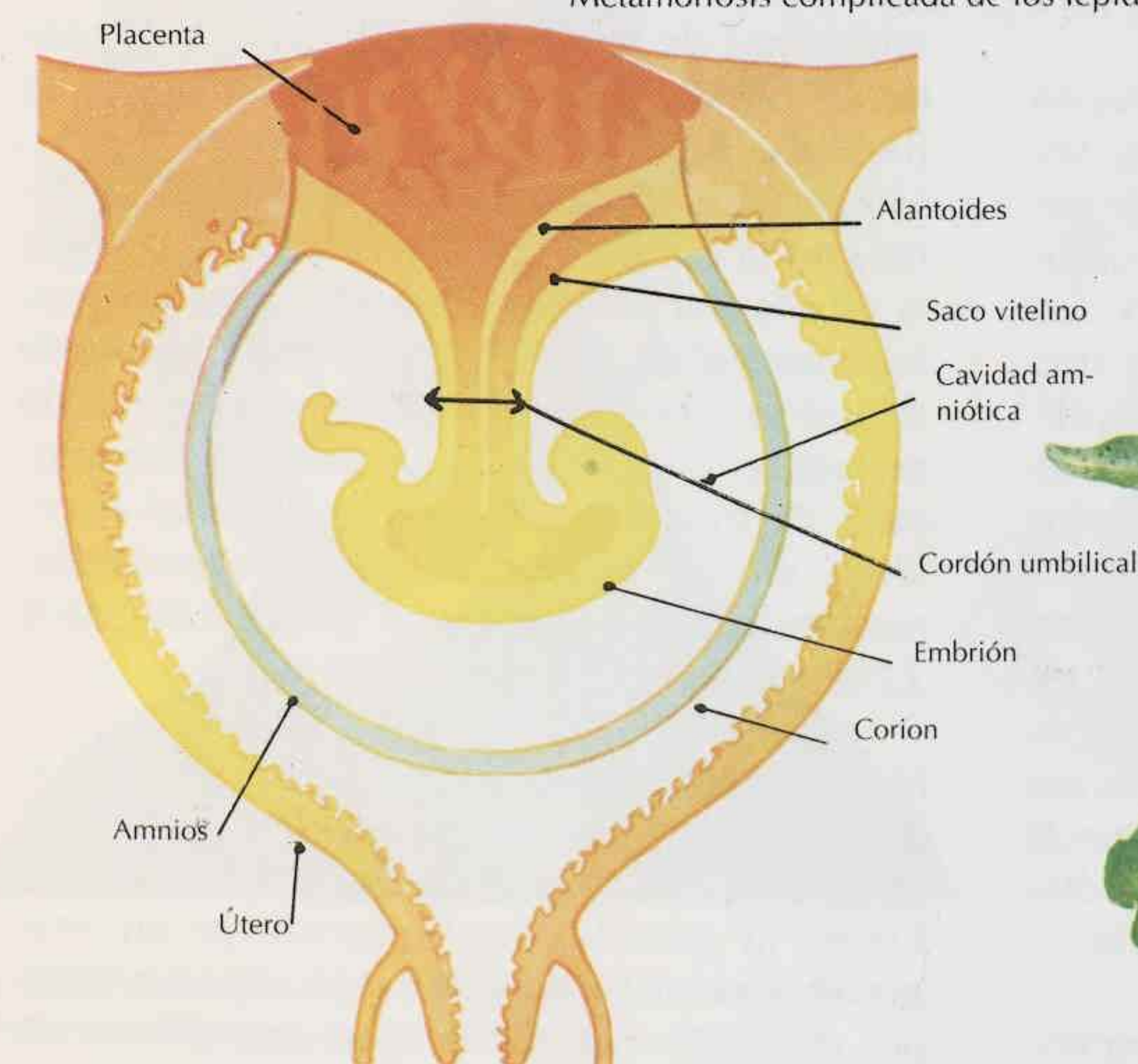


Doble fecundación en el saco embrional.

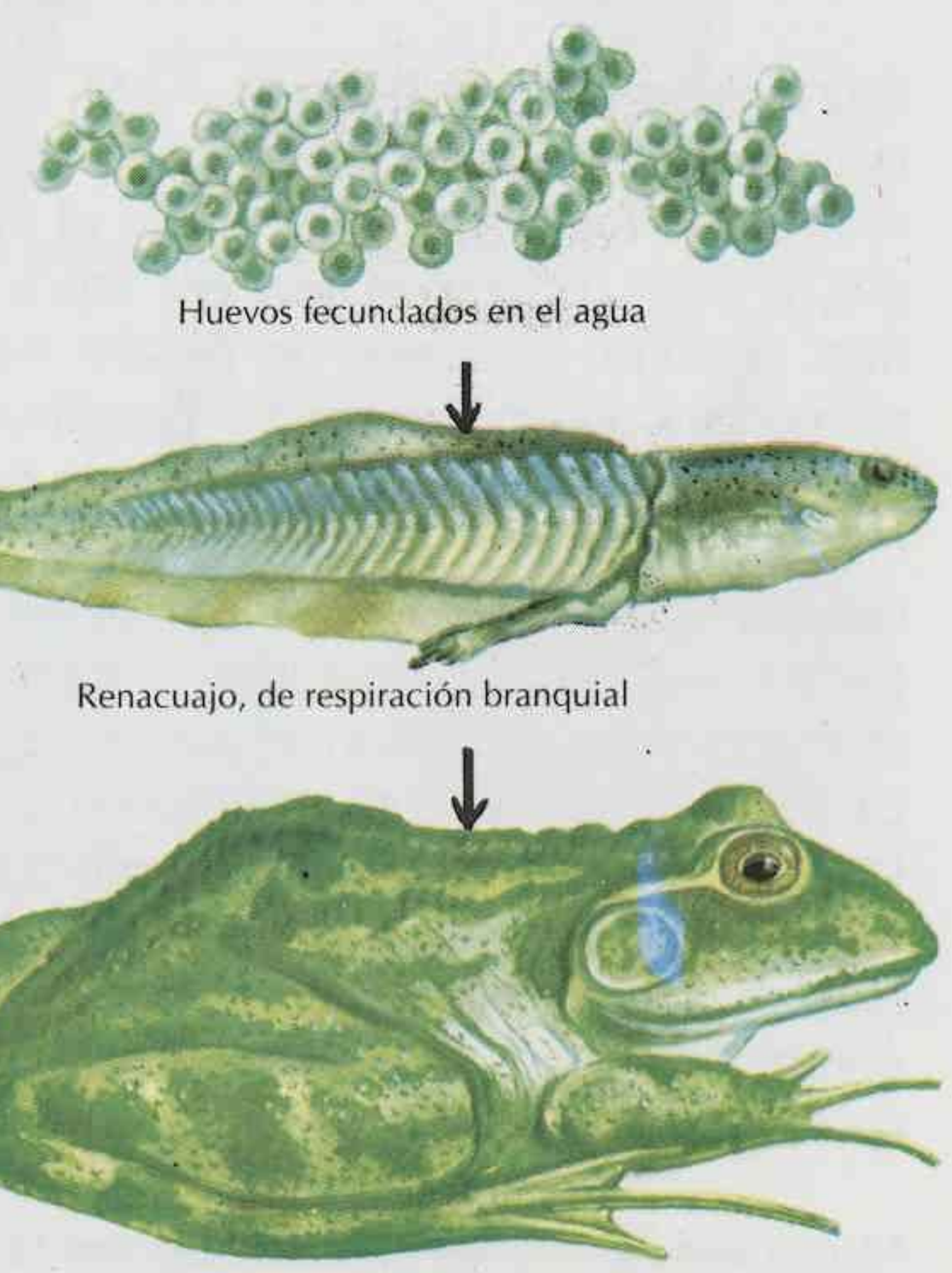
Diferentes clases de semillas según el desarrollo del endosperma.



Metamorfosis complicada de los lepidópteros.



Embrión de mamífero con sus dependencias.



Metamorfosis de los batracios.

La herencia biológica

GENÉTICA

Si tenemos un cultivo de ratones nos será posible ver cómo la descendencia se parece a los padres. Los hijos poseerán un conjunto de caracteres (rasgos morfológicos y fisiológicos) bien definidos que nos hace reconocerlos como ratones, haciéndolos semejantes entre sí y diferentes de los otros animales, entrando con ello en la noción de *especie*. Hay unos *caracteres específicos* que se transmiten hereditariamente de padres a hijos, asegurando que una pareja de ratones darán siempre ratones y que la descendencia de una pareja de moscas esté formada por moscas, y cabe preguntar: ¿qué base material hay en los organismos que explique la herencia biológica?

Los caracteres transmitidos por un sujeto pueden ser *específicos*, es decir, peculiares de la especie a la que pertenece; también pueden ser *raciales*, o sea, pertenecientes a un grupo determinado dentro de la misma especie y, finalmente, pueden ser *individuales*, propios de un individuo determinado. Gregorio Mendel realizó en el siglo XIX entrecruzamientos entre individuos pertenecientes a la misma especie, fijándose en la transmisión hereditaria de unos pocos caracteres raciales, simplificación ésta que le permitió ver con claridad en los fenómenos hereditarios.

Raza pura y raza híbrida.— Si se cruzan unos con otros cobayos de pelaje negro, veremos que los hijos tienen todos el pelaje negro, y, éstos, cruzados a su vez entre sí, originan también cobayos de pelaje negro: los primeros cobayos cruzados constituyen una *raza pura* para el carácter *color de pelaje*, diciéndose que dos individuos de una misma especie son de raza pura para uno o varios caracteres cuando, cruzados entre sí, toda la descendencia es uniforme para este carácter. La pareja tomada como punto de partida de las experiencias constituye la *generación parental* (P), ésta origina la *primera generación filial* (F₁), y sus nietos representan la *segunda generación filial* (F₂). *Raza híbrida* es aquella en la que su descendencia no es uniforme.

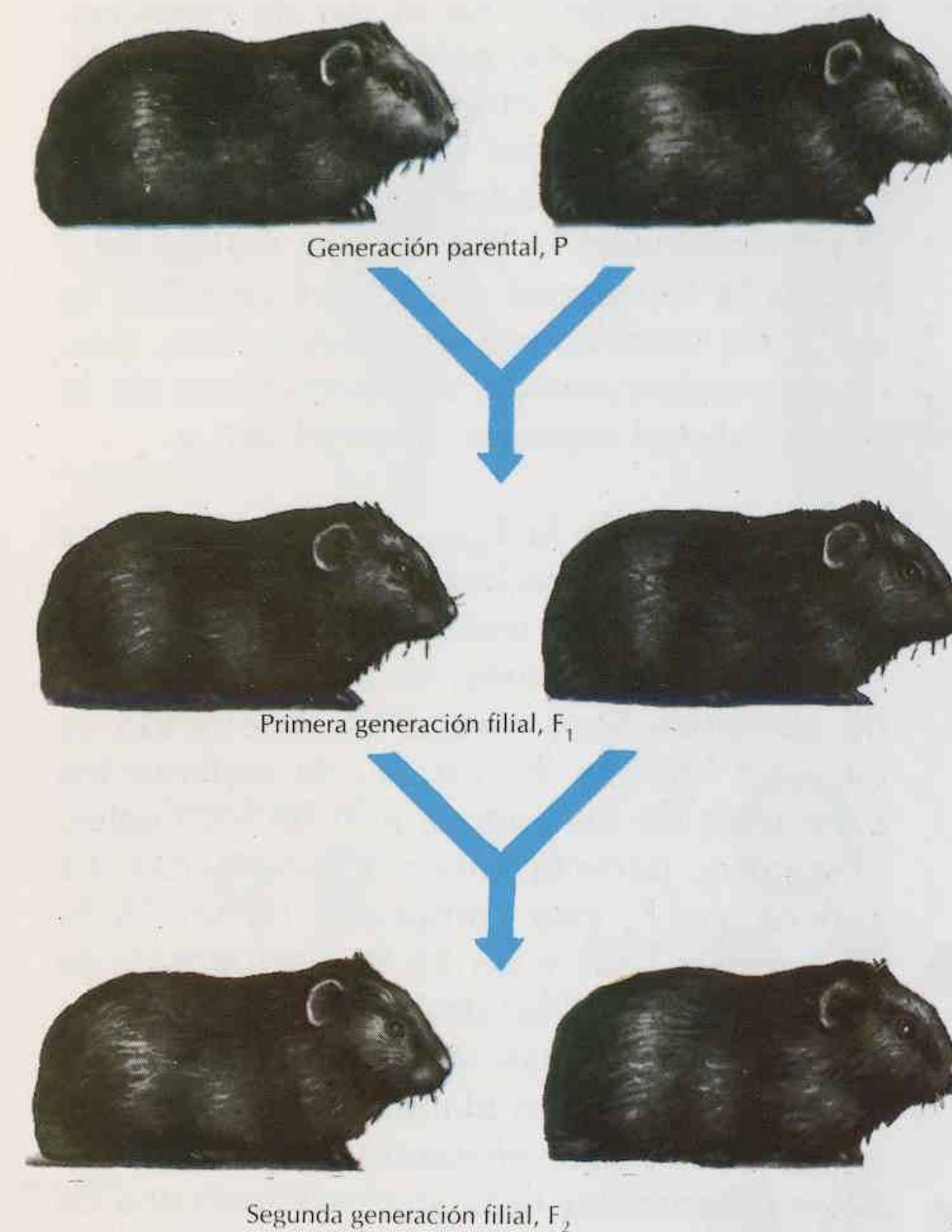
Mutaciones.— Hay veces que en la descendencia de individuos de raza pura aparecen uno o varios individuos con algún carácter

distinto que transmiten a su descendencia: este fenómeno constituye una *mutación*.

Mendelismo.— Para realizar el estudio de la transmisión de caracteres hereditarios, Mendel utilizó el método de la hibridación, conocido bajo el nombre de *mendelismo*. Para la obtención de los híbridos se eligen dos razas, asegurándose de que son puras, y se realiza el cruce. En el caso de las plantas con flores, si queremos cruzar una de flores rojas con otra de flores azules, cortamos los estambres de una flor, supongamos roja, y cubrimos el pistilo con una gasa para evitar la fecundación con polen extraño. Cuando éste está maduro, con un pincel se toma polen de la flor azul y levantando la gasa se poliniza la flor roja frotando el estigma, realizando así una *polinización artificial*. Si se trata del cruce de animales (pájaros, insectos, etc.), se aíslan las hembras de raza pura y, cuando están en la madurez sexual, se las une con el macho, también de raza pura. En el caso de que no se realice el acoplamiento, como sucede en las abejas, entonces se efectúa una inseminación artificial, introduciendo con una micropipeta los espermatozoides en las vías genitales de la hembra.

Con la hibridación, y fijándose tan sólo en unos pocos caracteres, una pléyade de investigadores se han lanzado al estudio de los problemas de la herencia biológica, edificando la *Genética*, rama importantísima de la Biología. A partir del norteamericano Th. H. Morgan, los resultados han sido espectaculares con la utilización para las experiencias de la mosca del vinagre, *Drosophila melanogaster*, material de fácil obtención, ya que puede criarse en pequeños frascos y se alimenta de sustancias muy variadas (plátanos, manzanas, etc.). Al mismo tiempo es un material excelente, ya que tiene gran poder reproductor, pudiéndose conseguir una *generación* cada 12 días a la temperatura de 20° C.

Monohibridismo.— El cruzamiento de dos individuos de raza pura que no difieren más que por un carácter (longitud de las alas, color de la semilla, etc.), constituye un *monohibridismo*. El carácter está representado por dos *potencialidades* opuestas, si bien de tal modo que cada individuo de raza pura no posee más que una sola *potencialidad*.

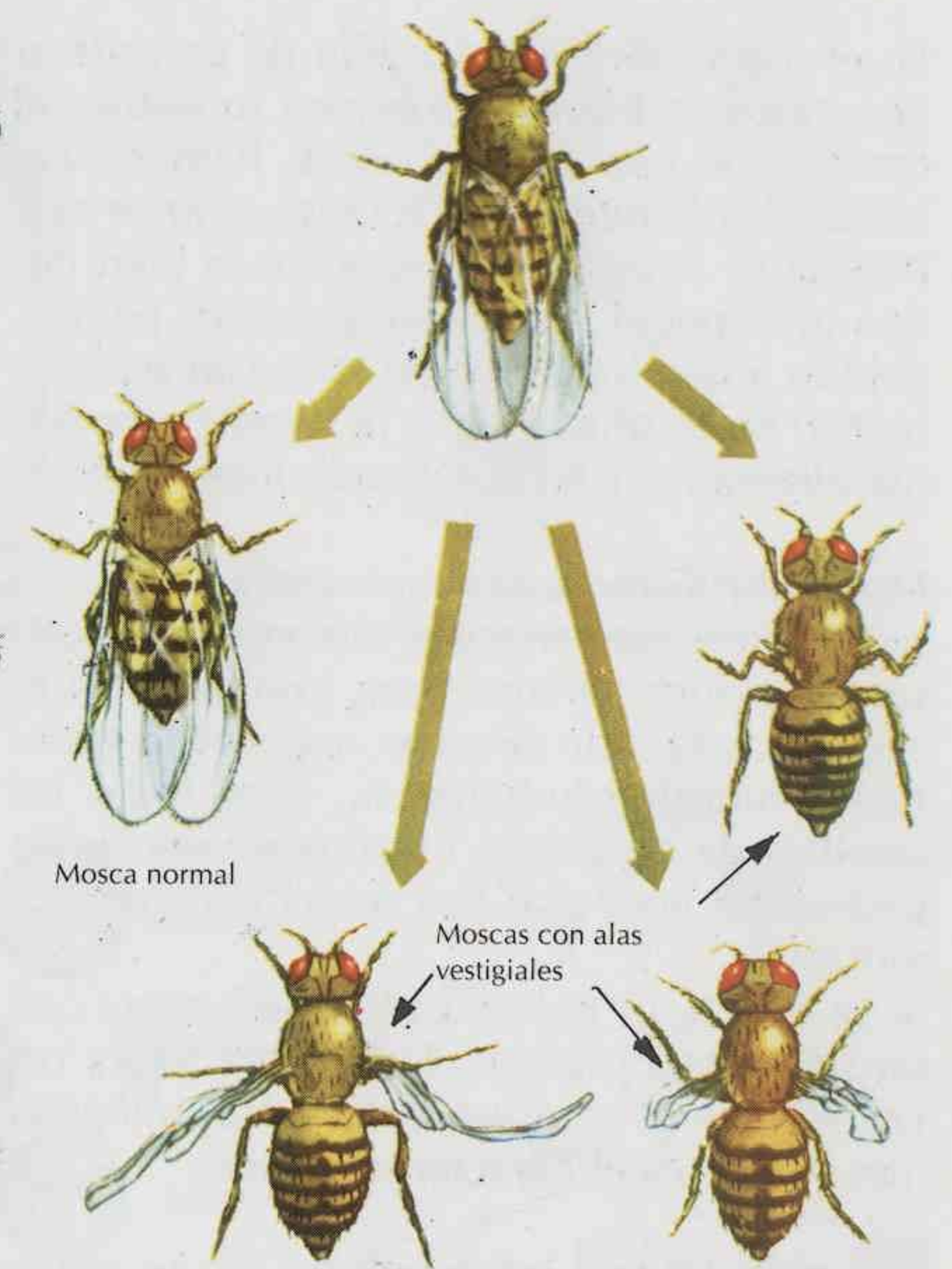


La generación parental es raza pura para el color del pelaje.

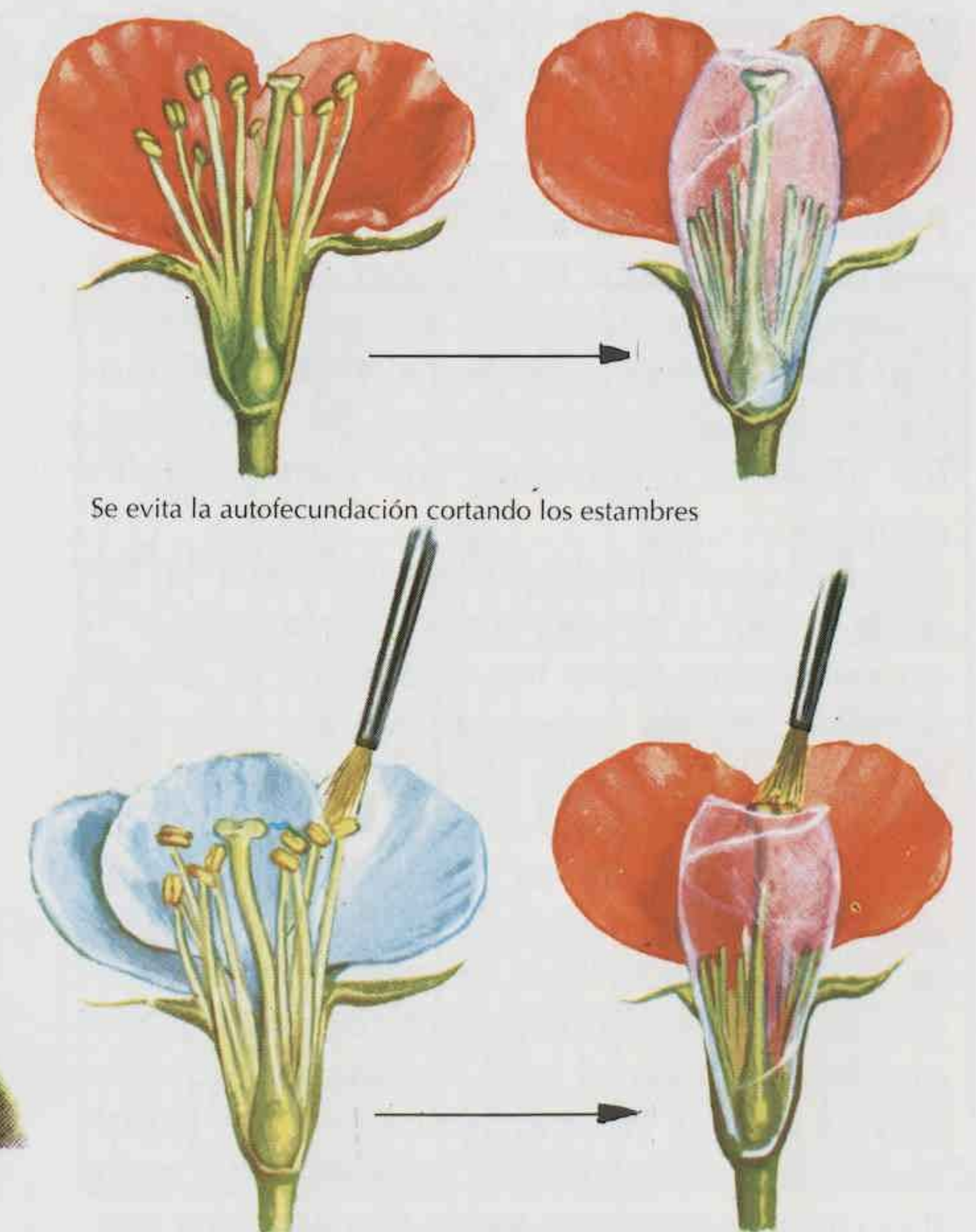


J. G. Mendel (1822-1884), el iniciador de los estudios sobre la herencia biológica.

Raza pura y mutación. Mendelismo



La aparición de moscas con alas vestigiales, transmisibles a su descendencia, constituye una mutación.



LEYES DE MENDEL

En el monohibridismo se han de considerar dos casos: o bien los híbridos muestran el carácter de uno de los padres, llamado *carácter dominante* (el carácter que no se manifiesta se designa por *recesivo*), o bien tienen un aspecto intermedio entre los padres, debido a que los dos caracteres son *equipo-*
tentes; en el primer caso la herencia se llama *alternativa* y en el segundo *intermedia*.

Monohibridismo con dominancia.— Cruemos, como hizo Mendel, dos razas de guisantes (*Pisum sativum*); una, con semillas *lisas*, y la otra, con semillas *rugosas*: la generación híbrida resultante, F_1 , tiene todas las semillas de superficie lisa como uno de los padres; de aquí que *liso* sea el carácter dominante.

Si se cruza un guisante de flores *rojas* con otro de flores blancas, la F_1 tiene flores rojas: *rojo* es el carácter dominante, mientras que *blanco* es el carácter recesivo.

Monohibridismo intermedio.— Si se cruza un dondiego de noche (*Mirabilis jalapa*) de flores blancas con otro de flores rojas, la primera generación filial, F_1 , tiene las flores de color rosa, intermedio entre los de los progenitores.

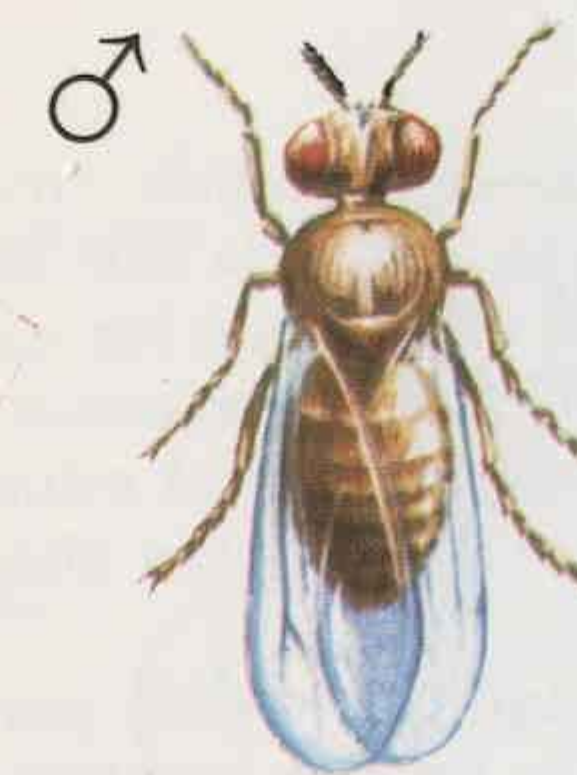
Primera ley de Mendel.— De estos fenómenos que acabamos de exponer se deduce la primera ley de Mendel, o ley de la *uniformidad de la primera generación filial*: «Cuando se cruzan dos individuos de raza pura, los híbridos resultantes son todos iguales entre sí».

Esta ley se entiende perfectamente a la luz de la teoría cromosómica de la herencia. Si un progenitor tiene lisa la superficie de sus semillas, ha de haber un par de cromosomas homólogos que lleven los genes que determinan el carácter liso. Por la meiosis, en la formación de las células sexuales cada gameto se lleva uno de los cromosomas; por lo tanto, el individuo de semillas lisas engendra gametos portadores todos ellos del cromosoma con el gen dominante, que podemos llamar *A* (mayúscula por ser dominante), mientras que el individuo de semillas rugosas produce todos sus gametos portadores del gen recesivo *a*, que determina el carácter rugoso. Los híbridos originados a partir del cigoto resultante de la fusión de

dos gametos, unos con el gen *A* y otros con el gen *a*, tendrán todos el par de cromosomas homólogos *Aa*, es decir, la generación F_1 tendrá toda el mismo *genotipo* *Aa*. Los híbridos de la F_1 con el genotipo *Aa* tienen las dos potencialidades (lisa y rugosa), pero, al ser dominante la lisa, sólo se realiza ésta, que es la forma que poseen las semillas; es decir, las semillas son de *fenotipo* liso, aunque genotípicamente son portadoras de la potencialidad rugosa al llevar el gen *a*.

Composición de la F_2 .— Si se cruzan entre sí los individuos de la generación F_1 de guisantes, se obtiene una descendencia, la F_2 , que no es homogénea, ya que se compone de guisantes lisos y rugosos, mostrando su carácter híbrido. En esta F_2 se separan los caracteres de los padres, uno de los cuales, el rugoso, parecía haber desaparecido. La generación F_2 está compuesta de un 75 % de semillas lisas y un 25 % de rugosas: de cada cuatro semillas de la F_2 , una es rugosa y tres son lisas. Las semillas rugosas, si se siembran, producen plantas con semillas rugosas todas ellas, señalando ser razas puras. Entre las semillas lisas, de cada tres, una da siempre semillas lisas (raza pura), mientras que las dos restantes, o sea, la mitad de la F_2 , originan, en la generación siguiente, F_3 , 75 % de semillas lisas y 25 % rugosas, indicando que son híbridos, igual que la F_1 . Resumiendo, la generación F_2 está constituida por tres categorías de guisantes: 1/4 lisos y puros, 1/2 lisos-híbridos y 1/4 rugosos-puros. En el caso del dondiego de noche, los híbridos se detectan por su color rosa. La F_2 de los guisantes se compone de dos fenotipos (liso y rugoso) y de tres genotipos (*AA*, *Aa* y *aa*); en el dondiego de noche (herencia intermedia), la F_2 se compone de tres fenotipos (blanco, rosa y rojo) y tres genotipos (*AA*, *Aa* y *aa*), designando los genes respectivos con las mismas letras. En la herencia dominante, el genotipo *AA* tiene la misma expresión fenotípica que el *Aa*. Los individuos que con relación a un carácter tienen genes idénticos se denominan *homozigóticos* (*AA* y *aa*); cuando los genes son opuestos (*Aa*), reciben el nombre de *heterozigóticos*. Homozigótico equivale a raza pura y heterozigótico a híbrido. En los primeros, el fenotipo es la expresión del genotipo.

Segunda ley de Mendel.— La *segunda ley* mendeliana, o ley de la disyunción, se de-



Macho

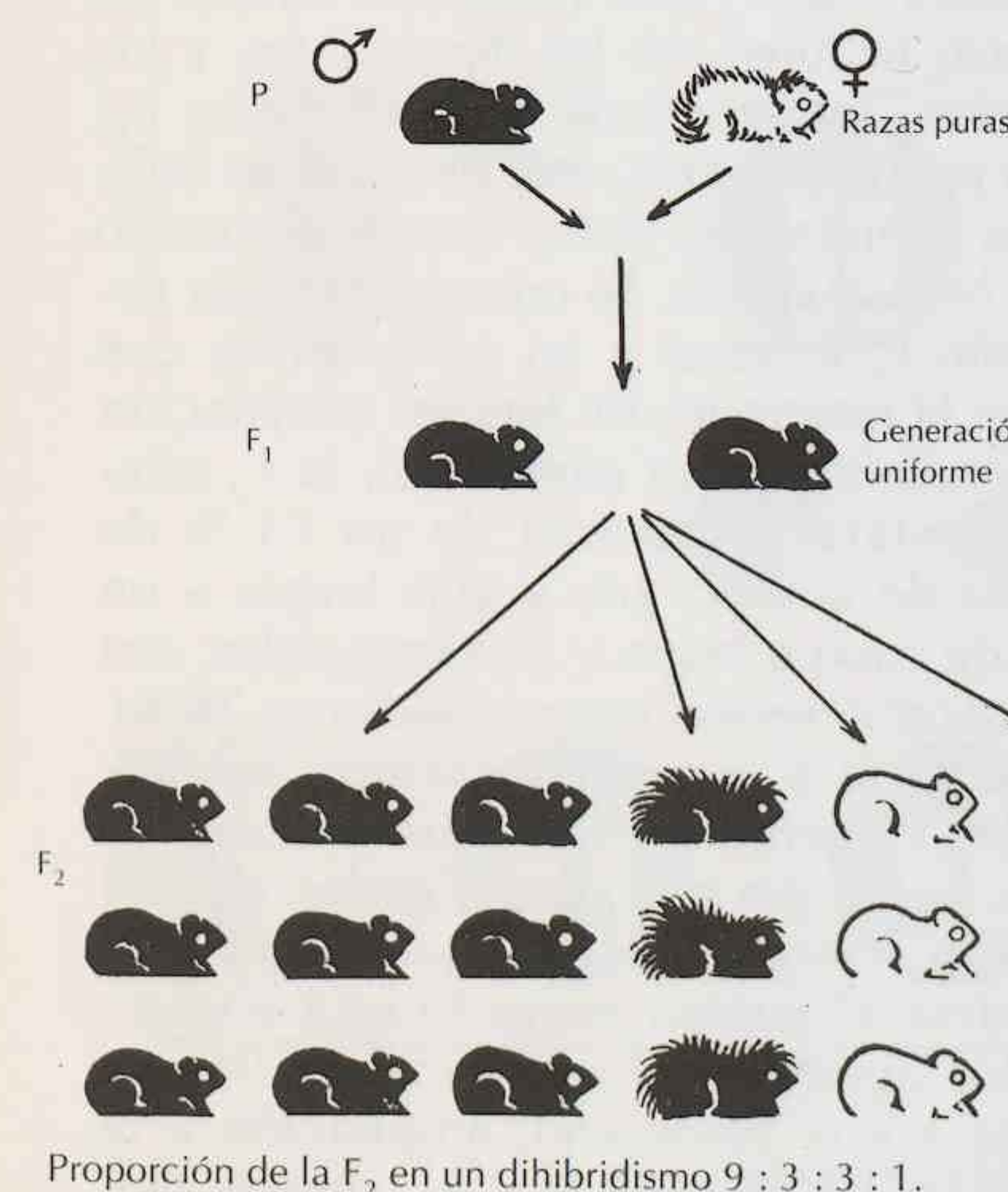
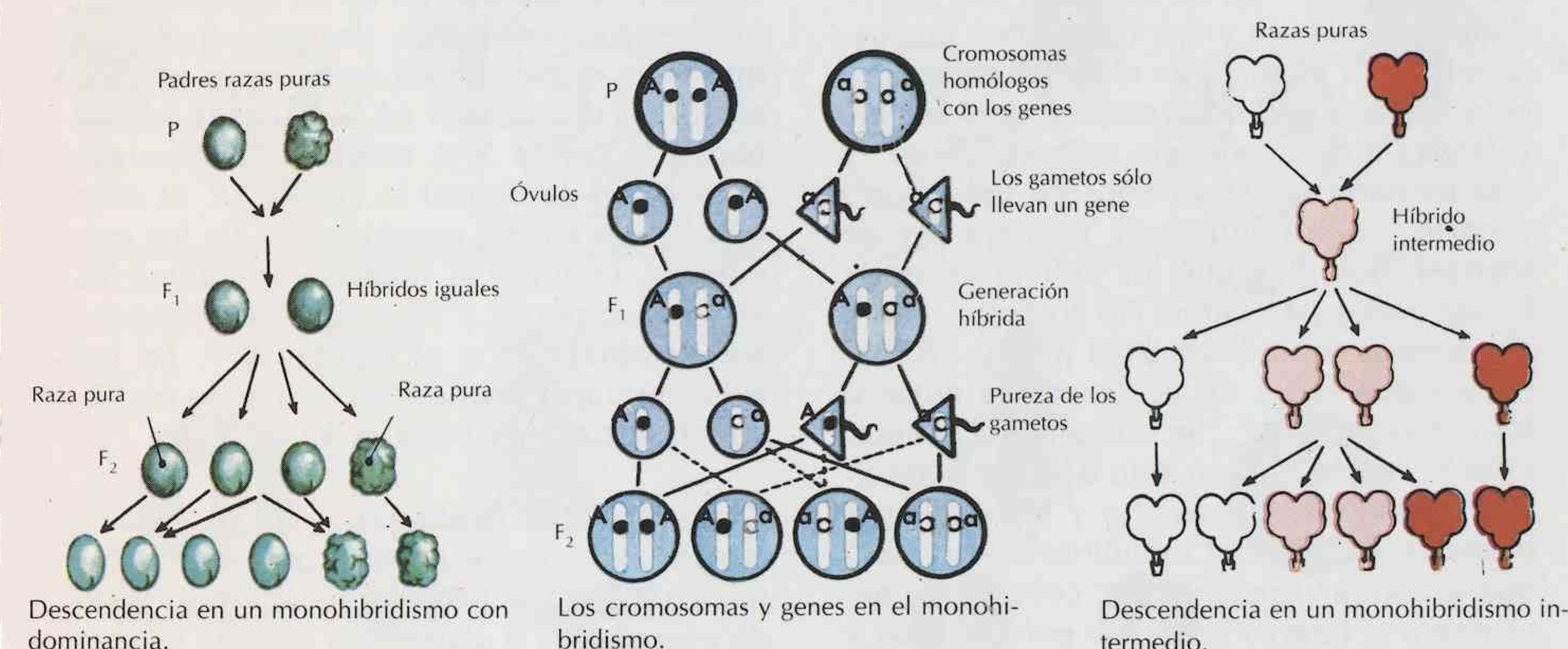


Frasco de cultivo



Hembra

La mosca del vinagre, *Drosophila melanogaster*, es muy utilizada en el laboratorio para el estudio de la herencia biológica.



♀	Gametos del macho			
	AB	Ab	aB	ab
AB	AA BB	Aa Bb	Aa Bb	Aa Bb
Ab	Aa Bb	AA bb	Aa bb	Aa bb
aB	Aa Bb	Aa bb	aa BB	aa Bb
ab	Aa Bb	Aa bb	aa Bb	aa bb

Genes de la F_2 en un dihibridismo.

duce del estudio de la composición de la segunda generación filial, F_2 . En sus individuos se realiza la separación de los caracteres de los abuelos. Esto supone la pureza de los gametos producidos por los híbridos, que sólo se llevan una potencialidad, bien lisa, bien rugosa. Lo entenderemos mejor si tenemos en cuenta que los gametos se forman por una meiosis, llevando únicamente la mitad de cromosomas de las restantes células del organismo; por lo tanto, células de componente Aa (híbridos) darán gametos A y a , es decir, puros.

Dihibridismo.— En el cruce de dos individuos de raza pura y que difieren en dos caracteres, por ejemplo en el de un cobayo de pelo negro y corto con otro de pelo blanco y largo, la descendencia es homogénea, y está formada por individuos de pelo negro y corto, cumpliéndose la primera ley de Mendel, que dice que los individuos de la F_1 son todos parecidos. Por lo tanto, negro (A) domina sobre blanco (a) y corto (B) domina sobre largo (b). Si cruzamos entre sí los cobayos de la F_1 , se obtiene una generación F_2 , en la que no sólo aparecen los tipos primitivos, negro-corto y blanco-largo, sino que se forman tipos nuevos: cobayos de pelo negro y largo y otros de pelo blanco y corto: hay, pues, cuatro fenotipos repartidos en la proporción siguiente: 9 cobayos de pelo negro y corto; 3 de pelo negro y largo; 3 de pelo blanco y corto; 1 de pelo blanco y largo.

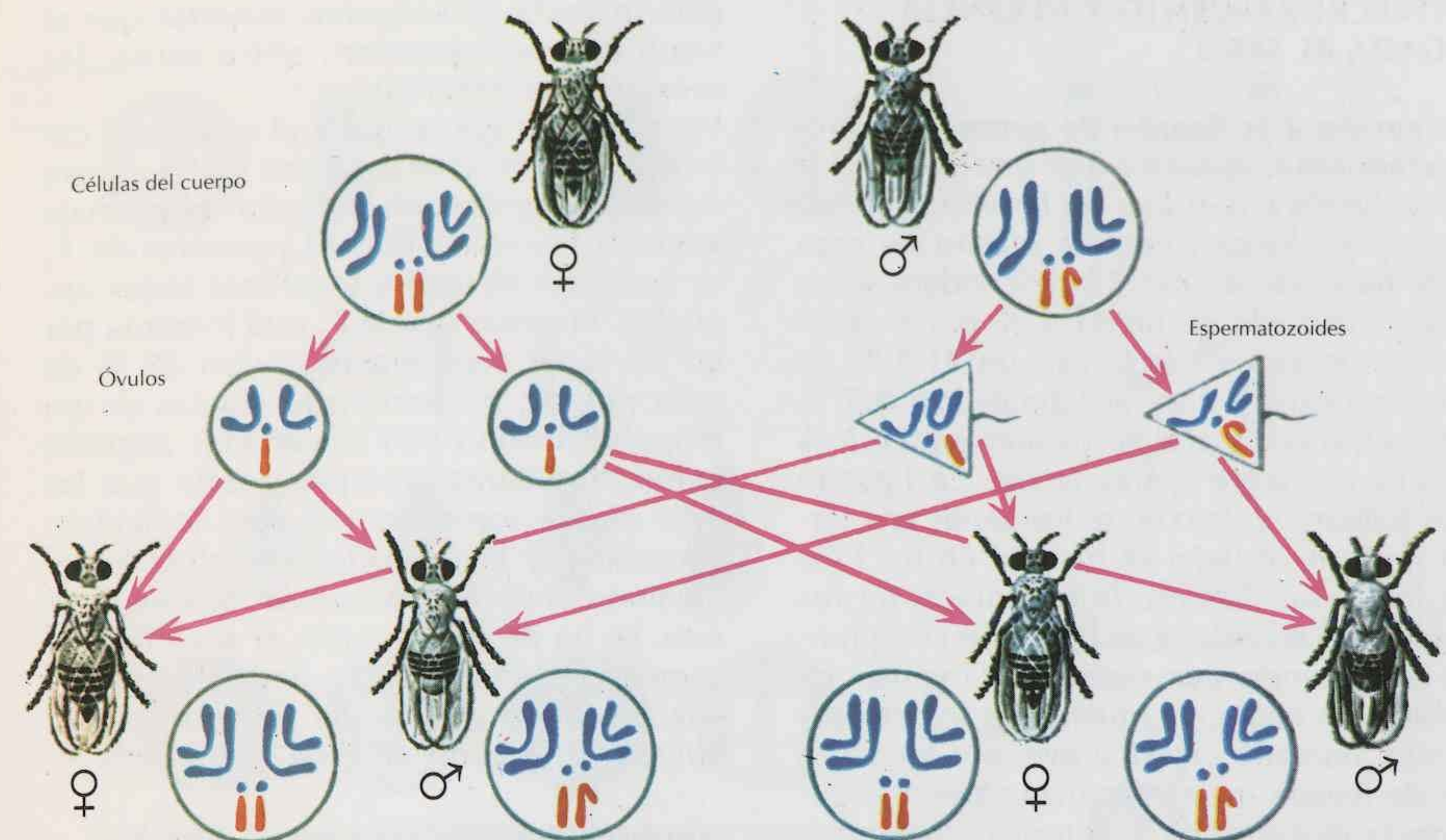
Tercera ley de Mendel.— Para interpretar la composición de la segunda generación filial, F_2 , en el caso del dihibridismo, Mendel (que trabajaba con guisantes lisos y amarillos, rugosos y verdes) supuso que los caracteres hereditarios se transmiten independientemente unos de otros, y esto constituye su tercera ley. Para que se produzcan las combinaciones observadas en la F_2 , cada cobayo ha de producir cuatro clases de gametos: unos con las potencialidades AB (negro-corto), otros con las Ab (negro-largo), otros aB (blanco-corto) y otros ab (blanco-largo). Cada una de estas clases de gametos producidos por un progenitor puede fusionarse con las otras cuatro originadas por el otro, dando en total 16 recombinaciones.

HERENCIA DEL SEXO Y LIGAZÓN DE CARACTERES

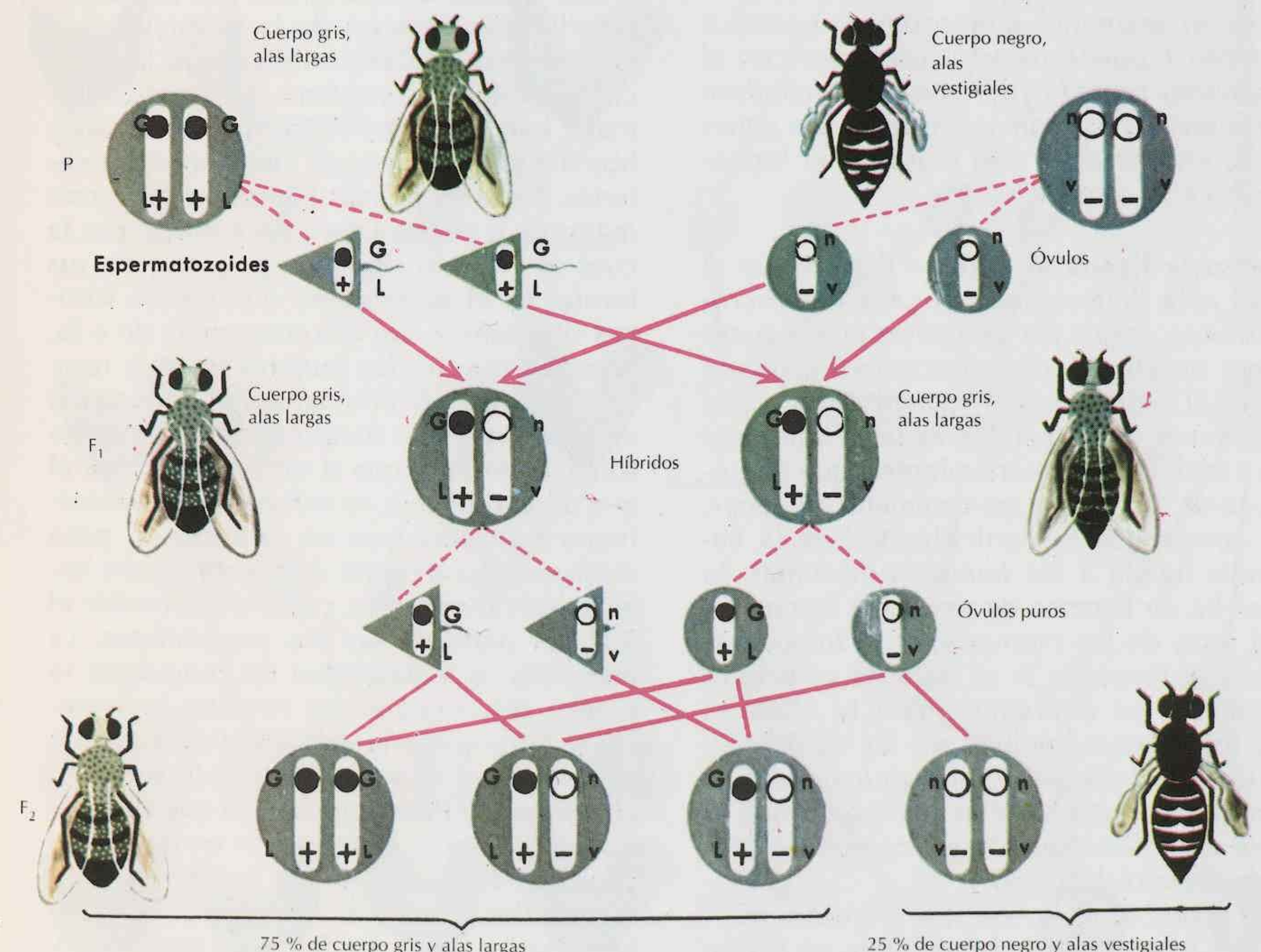
Herencia del sexo.— La teoría cromosómica de la herencia, apoyada por Morgan y su escuela, y que afirma que los caracteres son llevados por los cromosomas, queda plenamente ratificada con el estudio de la transmisión de un carácter tan importante como es el sexo.

La mosca del vinagre lleva dos pares de cromosomas en U, un par puntiforme y otro en forma de bastón. Las células de los machos se diferencian de las células de las hembras en que uno de los cromosomas en bastón lleva un gancho en su extremo: son los heterocromosomas, designándose Y al que lleva el gancho en su extremo, y X , al otro. Así, los machos (δ = signo de Marte) tienen la pareja $X Y$, mientras las hembras (♀ = signo de Venus) la tienen XX . El sexo está ligado a estos cromosomas. En los mamíferos, incluido el hombre, los Batracios y muchos peces e insectos, las hembras son también XX y el macho $X Y$. En las aves, reptiles y mariposas, el macho es XX , mientras que la hembra es XY .

Genes ligados (linkage).— Si se cruzan moscas del vinagre de raza pura que difieren en dos caracteres (dihibridismo), unas de cuerpo gris y alas largas ($GGLL$) y otras de cuerpo negro y alas vestigiales ($nnvv$), los primeros factores son los dominantes, y los segundos, los recesivos. La generación F_1 , según puede preverse, está formada de individuos semejantes: todos tienen el cuerpo gris y las alas largas. Se cruza ahora esta generación F_1 entre sí y, en contra de lo que supone la tercera ley de Mendel (disyunción independiente de los caracteres), la F_2 solamente estará compuesta de un 75 % de moscas de cuerpo gris y alas largas y un 25 % de cuerpo negro y alas vestigiales: son las proporciones del monohibridismo. Esto se explica porque los factores gris-largo están contenidos en un mismo cromosoma; es decir, que hay genes ligados: gris está ligado a largo, mientras que el gen que determina el cuerpo negro lo está a vestigial; los autores de lengua inglesa llaman *linkage* a este fenómeno, ampliación a la tercera ley de Mendel, la cual supone que las potencialidades son llevadas por cromosomas distintos, siendo así que un cromosoma también puede llevar muchos genes.



La transmisión del sexo se hace por medio de un par de cromosomas en forma de bastón, llamados heterocromosomas.



Las proporciones de la F_2 se explican suponiendo que los factores gris-largo están en un mismo cromosoma y los negro-vestigial, en otro cromosoma homólogo; es decir, los genes están ligados.

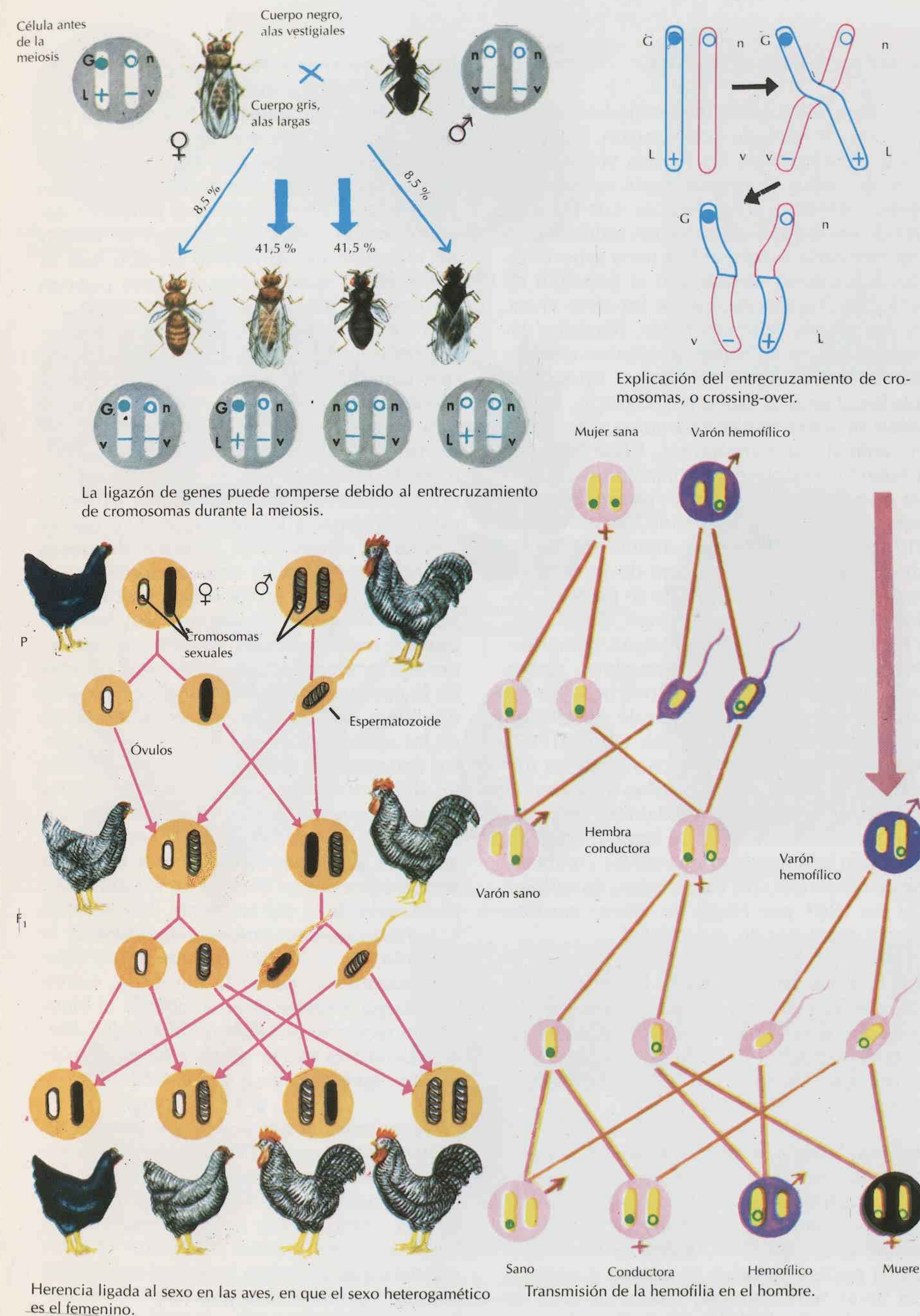
ENTRECRUZAMIENTO Y HERENCIA LIGADA AL SEXO

Excepción a la ligazón de genes: el entrecruzamiento.— Cruzemos una mosca híbrida hembra ($Gn Lv$), de fenotipo cuerpo gris y alas largas, con un macho de raza pura recesiva ($nv nv$). La descendencia estará constituida en un 41,5 % por moscas de cuerpo gris y alas largas, un 41,5 % de cuerpo negro y alas vestigiales, un 8,5 % de cuerpo gris y alas vestigiales y un 8,5 % de cuerpo negro y alas largas. La ligazón que habíamos visto entre los genes gris-largo y negro-vestigial se ha roto en un 17% de los casos durante la formación de los óvulos del híbrido. Este hecho se comprende suponiendo que durante la meiosis ha habido un *entrecruzamiento* de los cromosomas, llamado *crossing over* por los autores de lengua inglesa, realizándose así: durante la metafase de la mitosis reduccional, los cromosomas homólogos se aparean y se entrecruzan, arrollándose entre sí; por lo tanto el segmento cromosómico portador del gen L puede pasar a fusionarse con el segmento portador del gen n , formándose un nuevo cromosoma que tiene los genes nL y, viceversa, el otro cromosoma formado lleva los genes Gv .

Herencia ligada al sexo.— Puesto que el sexo está determinado por los heterocromosomas, todos los caracteres cuyos genes estén en ellos serán caracteres ligados al sexo. El cromosoma Y genéticamente está casi vacío, y en realidad es un cromosoma en trance de regresión, mientras que el cromosoma X alberga gran número de genes. Se comprende la particularidad de la herencia ligada a los *heterocromosomas*, la cual ha de hacerse de un modo distinto al del resto de los cromosomas, a los que se llama *autosomas*. Si se trata de caracteres residentes en el cromosoma X (y no en el Y), los machos reciben de las madres su único cromosoma X, que únicamente lo transmiten a las hijas en el caso de que el sexo masculino sea el heterogamético (dos cromosomas distintos). Según que el sexo con dos cromosomas X sea el masculino o el femenino, se distinguen dos tipos de herencia ligada al sexo: tipo *Drosophila* (hembra XX) y tipo *Abra-xas* (hembra XY), que es una mariposa. Al primero pertenecen la especie humana y la

gran mayoría de animales, mientras que al segundo corresponden, entre otros, las aves, reptiles y mariposas. Veamos la herencia ligada al sexo en el caso de las Aves, cruzando una gallina negra de raza Langhan con un gallo de plumaje atigrado Plymouth Rock. La generación F_1 se compone de gallos y gallinas todos atigrados, mientras que la F_2 está formada por un 75 % de aves atigradas y un 25 % de aves negras, proporciones típicas de un monohibridismo con el carácter atigrado como dominante, aunque resulta que las aves negras son todas del sexo femenino; mientras que las atigradas son tanto del femenino como del masculino. Para explicar esto, se ha de suponer que el sexo heterogamético es el femenino, llevando el gallo atigrado de la generación parental un gen atigrado dominante en cada cromosoma X.

Herencia mendeliana en el hombre.— Desde el año 1905, en que Farabee comprobó en una familia tarada por la *braquidactilia* que las leyes de la herencia mendeliana eran también válidas para la especie humana, los progresos en genética humana han sido muy valiosos y se conocen hoy día gran número de afecciones hereditarias. Entre las ligadas al sexo está la *acromatopsia* o ceguera para los colores, por la cual se ve todo de color gris; una de sus formas es el *daltonismo*, que en los varones se presenta con una frecuencia de 4 %, mientras que en las mujeres es muy raro, 0,5 %. El gen determinante del daltonismo es recesivo y está localizado en el cromosoma X; de aquí que si un hombre lleva el gen de la dolencia, la enfermedad se manifiesta mientras que en una mujer, para mostrarse, ha de estar en combinación homocigótica, por cuya causa debe recibir el mal por parte de sus dos progenitores. La *hemofilia*, o incapacidad de coagularse la sangre, sólo se da en los varones; la herencia se hace como la del daltonismo, siendo el carácter recesivo, pero cuando se da en combinación homocigótica (lo que originaría una hembra), el cigoto no es viable, de aquí que no haya mujeres hemofílicas, ya que no llegan a nacer. Otras enfermedades hereditarias son la *sordomudez congénita* y la *deficiencia mental hereditaria*; la *braquidactilia* (dedos cortos), *polidactilia* (más de cinco dedos) y *sindactilia* (dedos fusionados).



Adaptación al medio y ecología

ADAPTACIONES AL MEDIO

Los seres vivos están diferenciados en gran número de tipos de organización. Para realizar el estudio de las formas vivientes se han de reunir en grupos según sus afinidades anatómicas y fisiológicas. Los caracteres de los individuos no tienen todos la misma categoría, sino que hay unos subordinados a los otros, siendo esto el principio de una clasificación natural de los seres vivos, cuyos grupos fundamentales, llamados *taxonómicos*, y en orden jerárquico descendente, son los siguientes: *Reino, Tipo, Clase, Orden, Familia, Género y Especie*. Según ellos, la abeja se clasifica como sigue: *Reino animal, Tipo artrópodos, Clase insectos, Orden himenópteros, Familia ápidos, Género Apis y Especie mellifica*. La especie es la categoría básica y se define, según Cuvier (1769-1832), como «el conjunto de individuos que descienden unos de otros o de antepasados comunes y que se parecen entre sí tanto como a sus padres». Cada especie vegetal o animal se designa científicamente mediante un par de nombres, ambos en latín, constituyendo la nomenclatura *binomial* o *linneana*, en honor de su creador, el naturalista sueco Carl von Linné (1707-1778). Al nombre específico siguen las iniciales del autor que describió la especie. Las especies no son inmutables, sino que van sufriendo una serie de cambios que les permiten adaptarse a las distintas condiciones ambientales; las *mutaciones*, descubiertas en 1901 por Hugo de Vries, son una fuente constante de variabilidad.

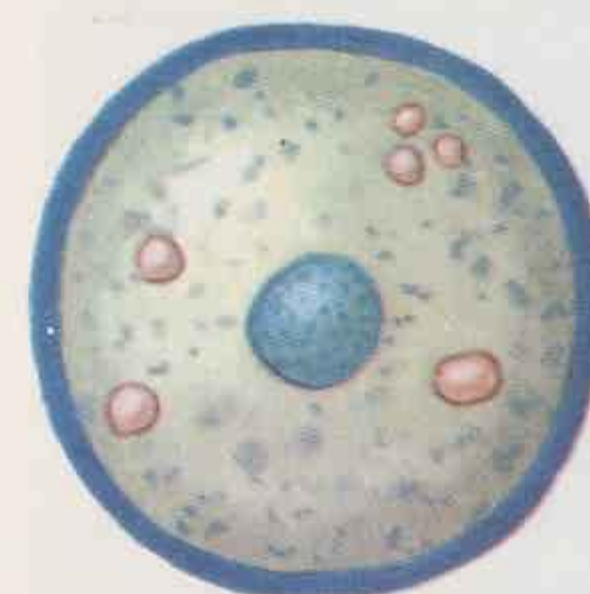
Los factores ambientales.— Entre los factores que continuamente influyen sobre los seres vivos hay unos *físicoquímicos*, como la *temperatura*, el *agua* y la *luz*, y otros *bióticos*, representados por la acción de diferentes organismos.

Adaptaciones a la temperatura.— Los vegetales que han de soportar temperaturas extremas producen *semillas* y *esporas*, que son órganos desecados capaces de resistir temperaturas de 65° C sobre cero y —70° C. La parte vegetativa se adapta a veces a las bajas temperaturas, creciendo poco y formando *almohadillas* sobre el suelo, que

le permiten aprovechar la mayor temperatura del mismo. También dan lugar a *yemas invernantes*, las cuales están protegidas por hojas coriáceas mientras cae el follaje. Otra forma de adaptación está representada por las plantas *geófilas*, que durante la estación desfavorable (frío o sequedad) producen órganos subterráneos que quedan en estado de vida latente, al mismo tiempo que la parte aérea muere; estos órganos pueden ser *rizomas, tubérculos* y *bulbos*.

La *vida animal* se desarrolla bien en temperaturas que oscilan entre 5° C y 35° C, lo que constituye su *temperatura óptima*, habiendo además una *temperatura máxima* y otra *mínima* que limitan las posibilidades de vida de un animal determinado, constituyendo estos tres valores sus temperaturas críticas. Cuando las temperaturas extremas están próximas a la óptima, se dice que el animal es *estenotermo*, permitiendo pocas variaciones térmicas; estas condiciones se dan en alta mar y en los bosques ecuatoriales. Los animales *euritermos* son los que pueden resistir grandes variaciones, por tener sus temperaturas extremas muy alejadas de la óptima; estas condiciones son propias de climas continentales y playas, así como de las aguas dulces. Las Aves y los Mamíferos tienen su cuerpo a temperatura constante, diciéndose que son *homotermos*, pues poseen tegumentos que les aíslan térmicamente del medio ambiente. El resto de los animales son *poiquilotermos*, por lo que la temperatura de su cuerpo es variable, dependiendo de la del ambiente. Los Reptiles y Anfibios quedan *entumecidos* durante la estación fría de las latitudes medias, y algunos mamíferos, como la marmota, sufren un *letargo* o *sueño invernal* debido al hipofuncionamiento de la glándula tiroides. Muchos animales evitan el frío *emigrando*, como las cigüeñas y las golondrinas.

Adaptaciones al agua.— Los vegetales terrestres experimentan adaptaciones muy especiales a las variaciones de humedad; las plantas que viven en lugares en que hay mucha, como sucede en los bosques ecuatoriales, tienen grandes hojas con muchos estomas que favorecen la transpiración (son plantas *higrófilas*). Las que habitan en ambientes secos, llamadas *xerófilas*, ofrecen



El enquistamiento es una forma de defenderse contra el frío en los protozoos.



Salamandra entumecida por el frío invernal.



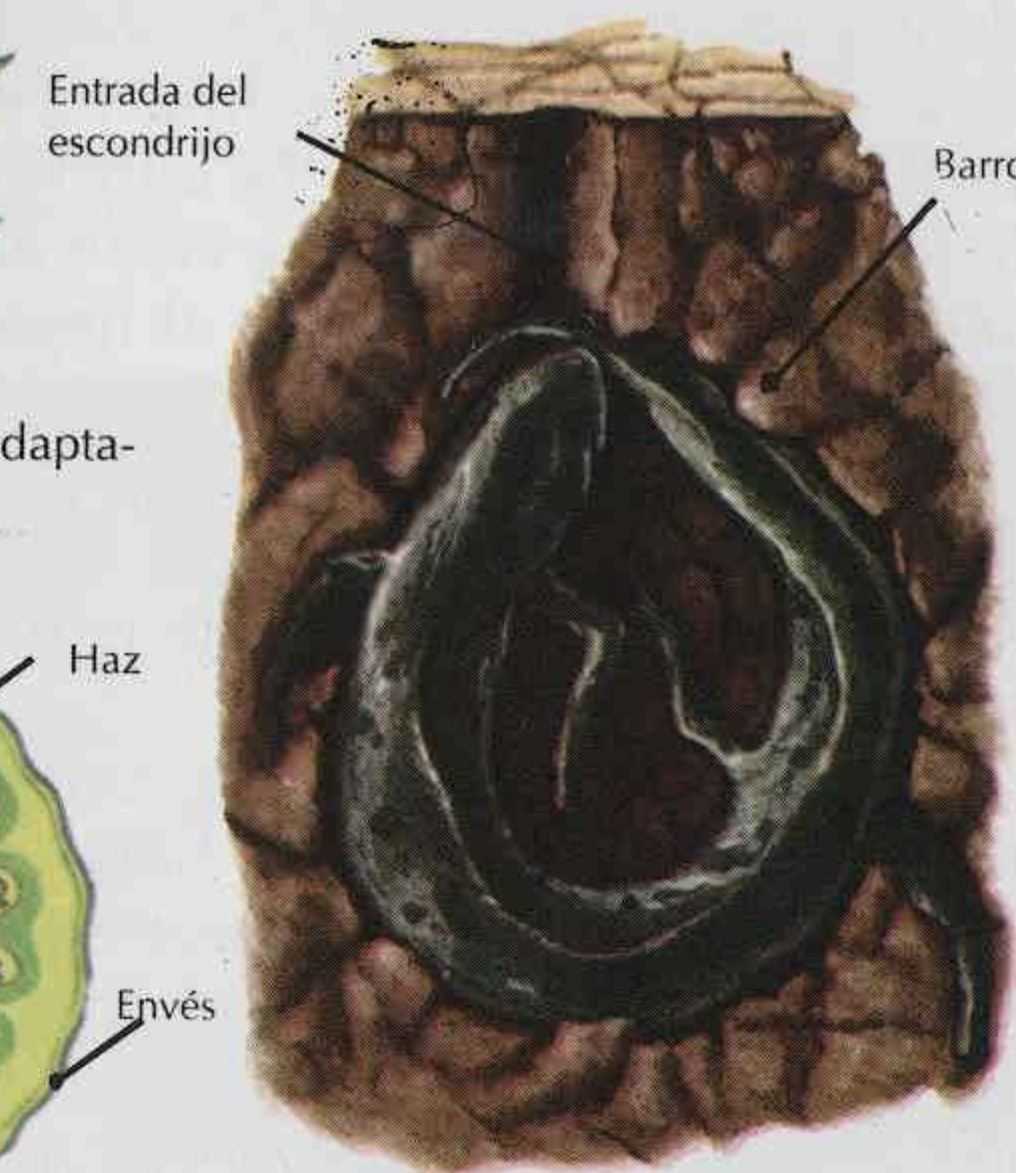
La emigración de las aves es otra forma de defenderse contra el frío.



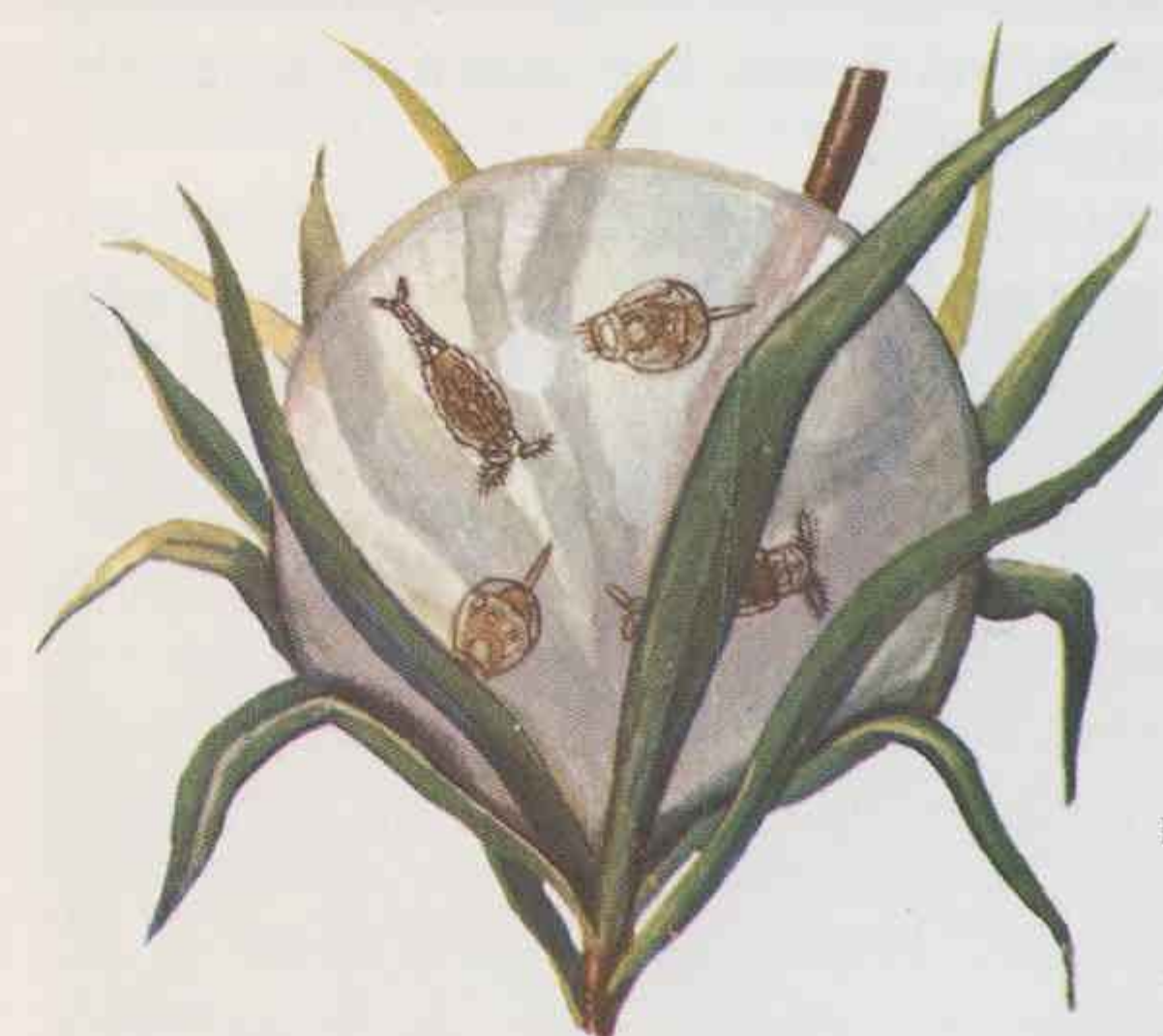
La marmota entra en letargo al llegar los fríos invernales.



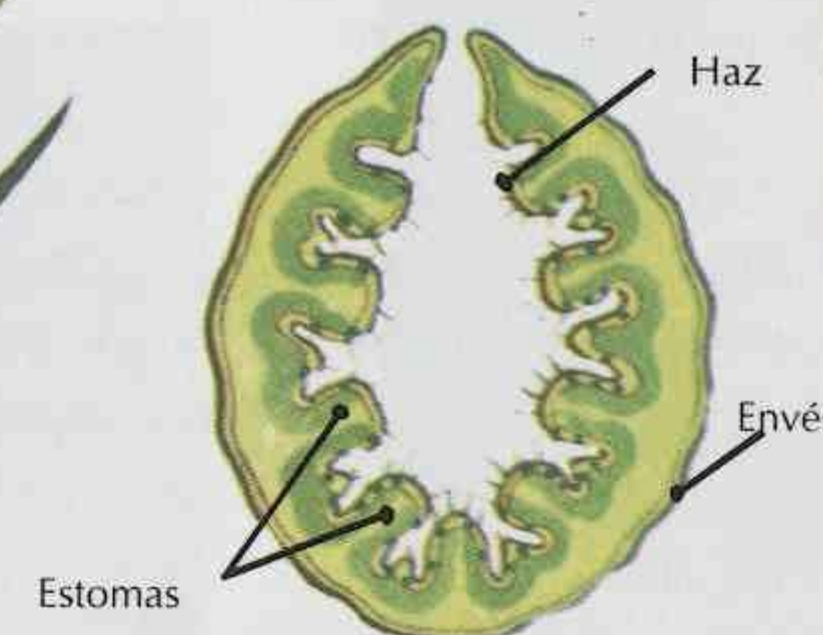
El brusco es una planta adaptada a la sequedad.



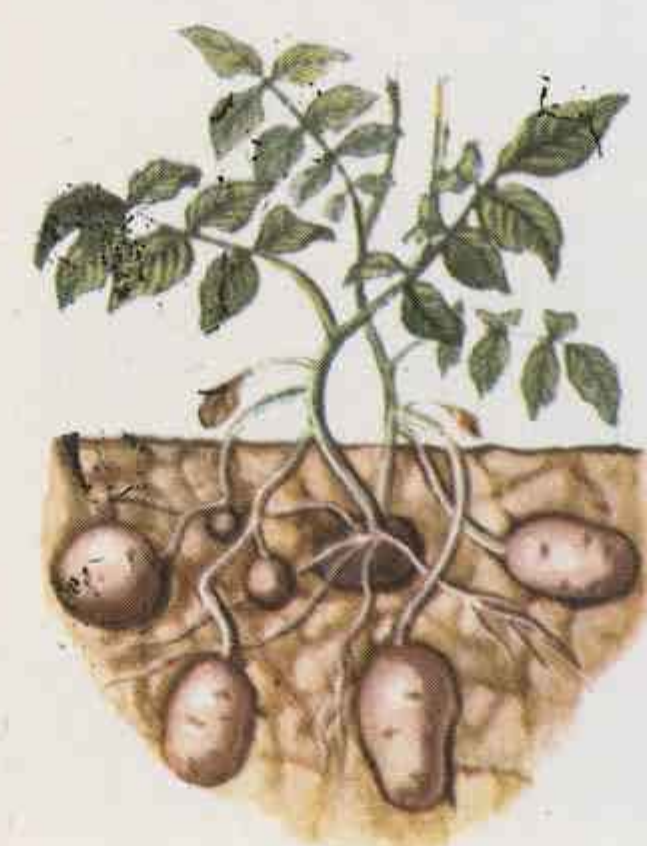
Dipnoo africano en letargo estival.



Los rotíferos de los musgos resisten muy bien la desecación.



Hoja doblada de una gramínea para evitar la transpiración.



Los tubérculos bajo tierra quedan protegidos del frío, mientras la parte aérea muere.



Según la composición de sus faunas pueden distinguirse cinco regiones zoológicas.

adaptaciones destinadas a evitar la pérdida de agua por transpiración, como nos lo muestran las hojas duras con estomas generalmente hundidos en la epidermis; tal ocurre en el algarrobo y la adelfa, el olivo y el laurel, e incluso arrollándose los bordes de la hoja, como acontece en la gramínea de las dunas, *Stipa capillata*, que sólo posee estomas en el haz. La reducción de la hoja es otra manifestación de la xerofilia, como se ve en el tomillo, romero y pino; incluso pueden desaparecer las hojas, como en el brusco, siendo entonces las ramas las que se aplanan y se cargan de clorofila, tomando aspecto de hojas y recibiendo el nombre de *cladodios*. A veces, y sobre todo en las zonas desérticas, toma mucho incremento el aparato radical o presentan un parénquima acuífero muy desarrollado para poder almacenar agua, llamándose a estas plantas *suculentas* o *crasas*, como la chumbera. Muchos animales inferiores se *enquistan* ante la sequía. Es curioso el caso de los peces *Dipnoos*, que viven en los ríos sujetos a desecación y que al llegar la época del estiaje excavan un escondrijo en el fango y respiran el aire atmosférico por medio de su vejiga natatoria, que funciona como un pulmón, pasando este tiempo en un *letargo estival*.

Las *adaptaciones* a la *luz* se manifiestan en los vegetales por tomar las hojas una simetría dorsiventral y por el desarrollo frecuente de dos clases de ellas: de luz y de sombra. En los animales se produce una mayor pigmentación en la parte dorsal del cuerpo, que es la expuesta a la luz y, en los animales cavernícolas, el cuerpo está depigmentado, siendo ciegos estos seres la mayoría de las veces.

ASOCIACIONES BIOLÓGICAS

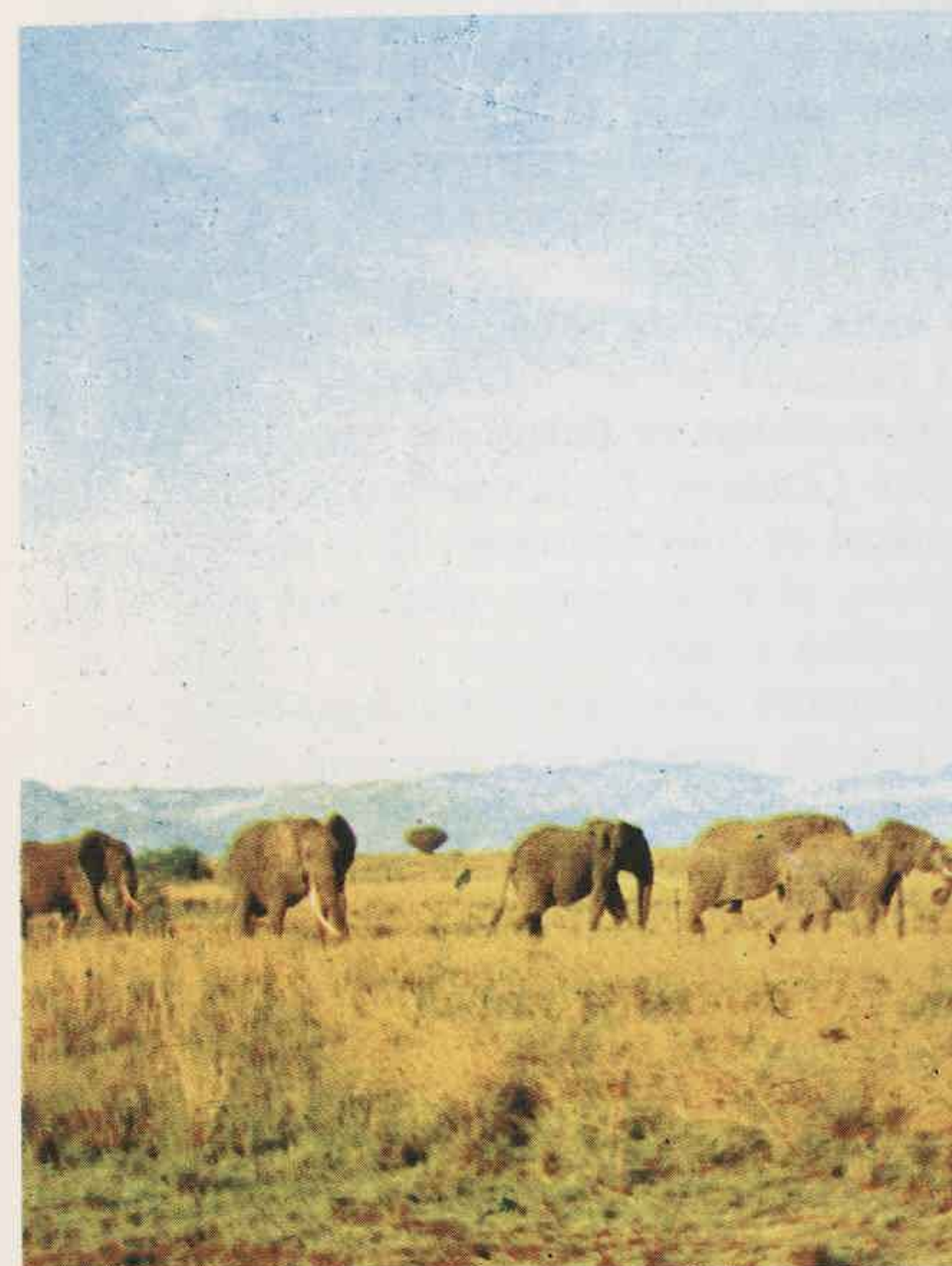
Los seres vivos no están aislados, sino que establecen relaciones de índole diversa entre los de la misma especie (*asociaciones intraespecíficas*) o entre los pertenecientes a especies distintas (*asociaciones interespecíficas*). Dentro de las primeras está la *asociación colonial*, forma primaria constituida por la unión corporal de individuos que, por gemación, han nacido de uno primitivo. En la colonia, los componentes pueden ser todos iguales, como en los corales y madréporas, en los que cada uno de ellos realiza las funciones propias de la vida, o

bien puede tratarse de una asociación colonial con división del trabajo, acompañada de una diferenciación morfológica de sus individuos. Un ejemplo interesantísimo de colonia nos lo ofrecen los *sifonóforos*, celentéreos pelágicos, cuyos individuos están tan especializados y son tales las relaciones fisiológicas entre ellos que pierden su individualidad, de modo que la colonia actúa como un solo individuo.

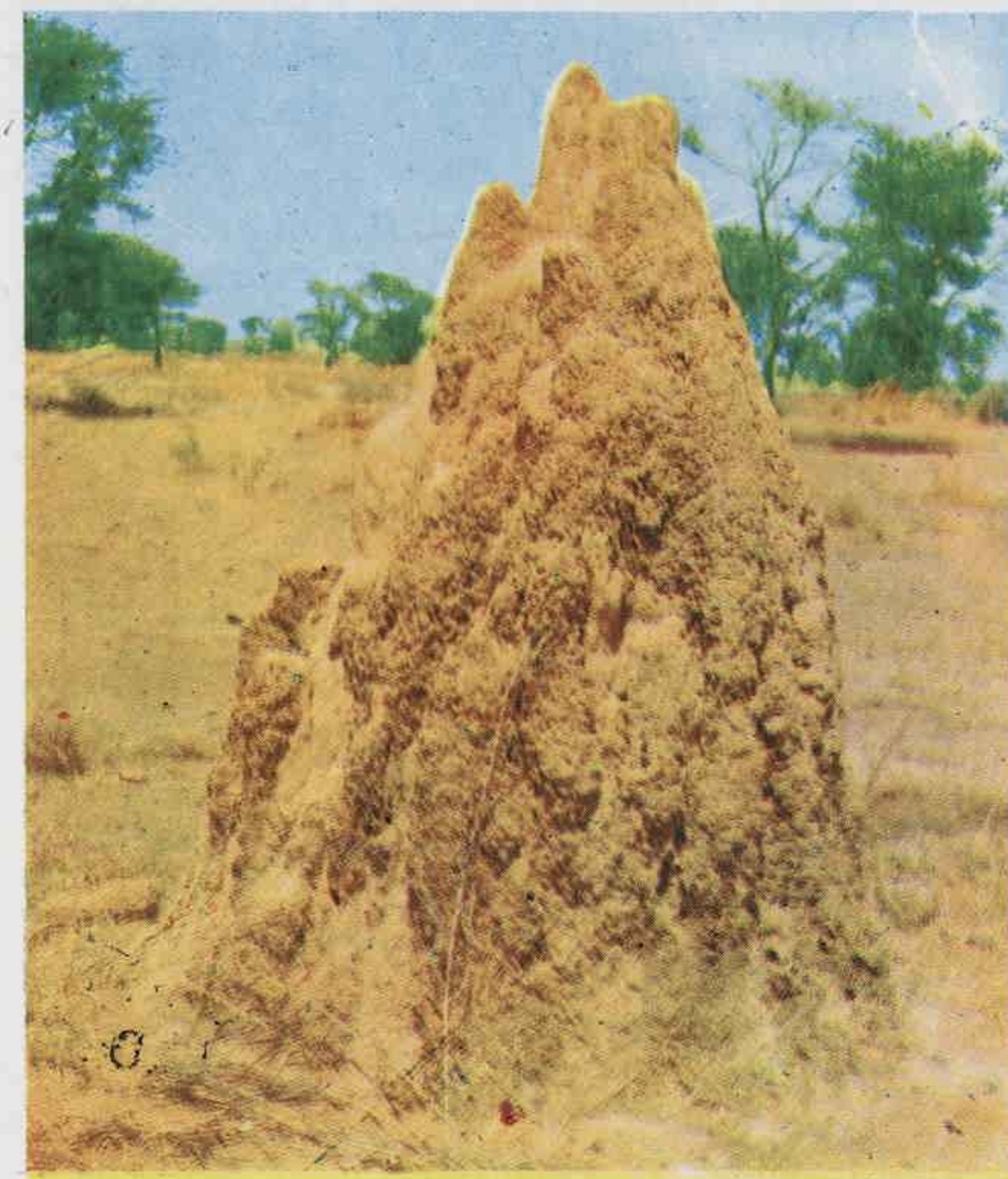
Otro tipo es la *asociación sexual*, en la que los integrantes se reúnen con fin procreador, mientras que en la *asociación asexual* hay un conjunto de individuos que se agrupan con fines diversos y que no son la procreación y cría de la prole. Hay diferentes clases de este tipo de asociación, siendo la más notable la *gregaria*, por la que animales de la misma especie se juntan con fines nutritivos y defensivos, pero sin alcanzar un grado elevado de organización en la actividad general de los mismos; tal es el caso de los *bancos* de sardinas y otros peces. En las asociaciones de animales herbívoros que forman *rebaño* hay ya un principio de subordinación a uno o a varios machos de más experiencia.

Las *asociaciones estatales* constituyen un tipo de asociación en que hay un grado elevado de organización y división del trabajo entre sus individuos, que lleva consigo la aparición de castas, morfológica y fisiológicamente distintas; estas asociaciones forman los *estados* o *pueblos*, exclusivos de los insectos sociales, abejas, avispas, hormigas y termites.

Entre las asociaciones interespecíficas, que pueden realizarse en diversos grados, se distinguen, en orden creciente, el *comensalismo*, el *inquilinismo*, la *simbiosis* y el *parasitismo*. En el *comensalismo*, el comensal vive sobre el cuerpo o bien en el interior del huésped, alimentándose de los despojos de éste, como hacen las bacterias que viven en las heces intestinales. En el *inquilinismo*, el inquilino busca guarida o protección, como es el caso del pez aguja, *Fierasfer acus*, que se aloja al menor peligro dentro de las holoturias, y los cangrejos que buscan refugio dentro de los mejillones. La *simbiosis* consiste en la asociación de dos organismos con beneficio mutuo, como sucede en los líquenes, formados por la unión de un alga verde y un hongo; el alga sintetiza materia orgánica que pasa al hongo, mientras que éste proporciona al al-



El rebaño es una asociación de animales herbívoros en que suele haber un principio de subordinación.



Los termites forman una asociación estatal con un grado elevado de organización.



Líquen sobre una roca seca y soleada; es una simbiosis de gran eficiencia.



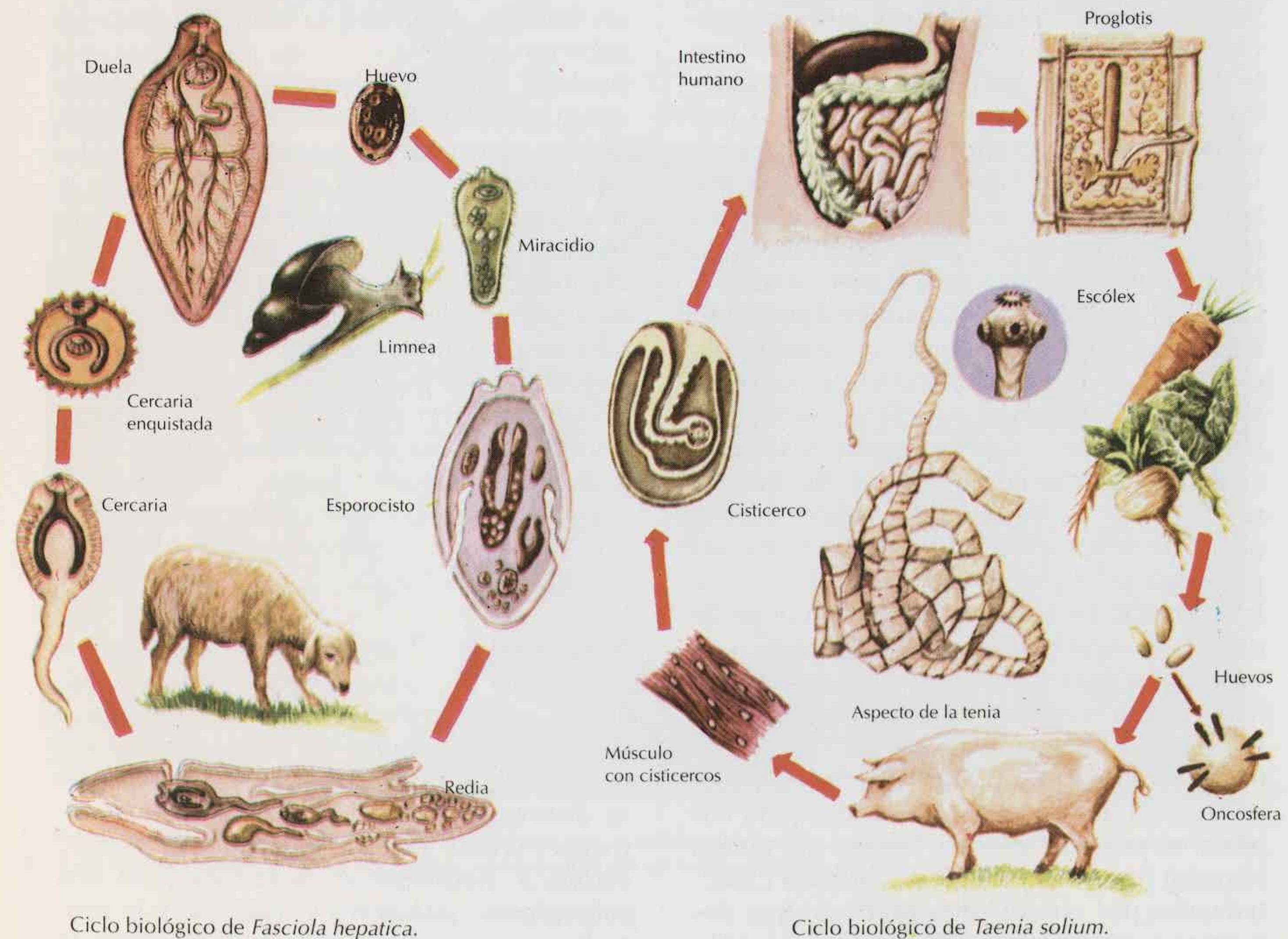
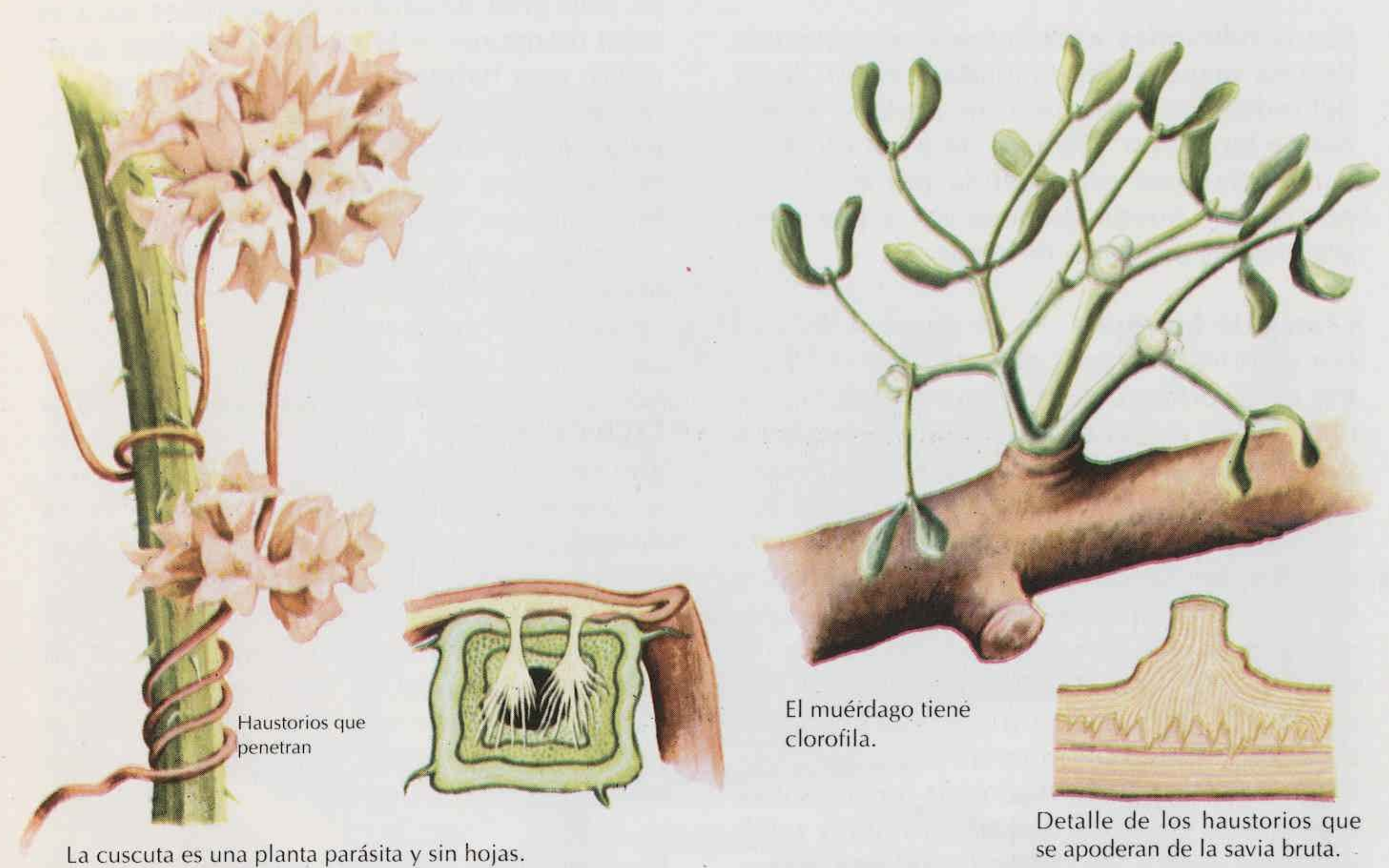
Simbiosis del cangrejo ermitaño con anémonas de mar.

ga humedad y sales. La unión es tan eficiente que, mientras el alga y el hongo aislados sólo podrían vivir en sitios húmedos y sombreados, el líquen puede vivir sobre las rocas escarpadas, secas y soleadas. Las *simbiosis digestivas* constituyen una variedad de gran interés, realizada entre los animales herbívoros y ciertas bacterias y protozoos; los mamíferos herbívoros son incapaces de digerir la celulosa, mientras que las bacterias sí, estableciéndose una simbiosis entre éstos y las bacterias, diferenciándose en el tubo digestivo verdaderas *cámaras de fermentación*, donde la celulosa es transformada en ácidos grasos por las bacterias.

Parasitismo.— La asociación de dos especies, en que una de ellas (parásito) obtiene sustancias alimenticias de la otra (huésped), bien tomando alimentos que éste tenía para sí, bien nutriéndose de partes integrantes de su cuerpo (tejidos, sangre, savia), constituye el *parasitismo*. En este tipo de asociación, una parte es la beneficiada, mientras que la otra queda perjudicada. La vida parásita tiene gran influencia sobre la organización de los seres que la practican, pues la abundancia de alimento hace que muchas veces se atrofien, e incluso desaparezcan, los órganos locomotores, ya que no es necesario ir en busca del sustento. Consecuencia de la quietud del parásito es la atrofia de los órganos de los sentidos; así, la mayor parte de los parásitos internos, como las tenias, son ciegos.

El parasitismo se da entre los vegetales en todos sus grados. En las plantas inferiores se halla muy extendido, como lo muestran las bacterias y hongos productores de tantas enfermedades. Las plantas con flores lo presentan pocas veces; entre ellas están el *muérdago*, que habita sobre diversos árboles y tiene color verde, por lo que puede realizar la fotosíntesis, pero en cambio es incapaz de absorber la savia bruta, la cual toma por medio de unos órganos chupadores llamados *haustorios* que emite en dirección a los vasos conductores del huésped. Entre los animales veremos algunos casos de gusanos parásitos de la especie humana; entre ellos está la *duela del hígado* (*Fasciola hepatica*), que más frecuentemente reside en las vías biliares de los corderos y vacas. Es hermafrodita y su ciclo biológico es de los más curiosos del reino animal, for-

mado por tres generaciones enteramente distintas. Pertenece al grupo de los Platelintos y vive en el hígado, tomando el alimento por una *ventosa bucal*. La primera generación, que es hermafrodita, tiene autofecundación, saliendo los huevos a través de la bilis y de las heces fecales y, al llegar al agua, nace de cada uno de ellos una larva llamada *miracidio*, revestida de cilios, que se dirige en busca del caracol de agua dulce *Limnaea*. En la cavidad pulmonar del caracol se transforma en la segunda generación, el *esporocisto*, que carece de tubo digestivo y que al llegar a la madurez reproductora produce partenogenéticamente la *tercera generación*, formada por individuos llamados *redias*, con tubo digestivo ciego. Saliendo del esporocisto, emigran las redias al hígado del molusco, donde, también partenogenéticamente, forman las larvas llamadas *cercarias*, que tienen ya organización parecida al adulto, con una cola que les sirve para emigrar a través de la limnea al agua en busca de las plantas de las orillas, donde se fijan y se enquistan, perdiendo la cola, en espera de ser tragadas por el ganado al pastar la hierba o incluso por el hombre. Es un parásito con *dos huéspedes* en su ciclo. La tenia o solitaria (*Taenia solium*) es un platelminto segmentado que vive en el tubo digestivo del hombre. Tiene en el extremo anterior del cuerpo un abultamiento muy pequeño o cabeza llamado *escólex*, con cuatro ventosas y una corona de ganchos. El *escólex* va originando segmentos llamados *proglotis*, que forman el cuerpo en número de unos 600 y con una longitud total de tres metros. Cada *proglotis* es hermafrodita. La tenia carece de tubo digestivo, absorbiendo el quilo intestinal humano a través de la piel y, como que respira anaerobiamente, utiliza una mínima parte del alimento absorbido por ella. Tiene autofecundación, saliendo los *proglotis* (llamados *cucurbitinos*) cargados cada uno con unos 50.000 huevos. Cada huevo lleva un embrión, que puede quedar en vida latente hasta que el cerdo lo trague, apareciendo del huevo una larva redondeada llamada *oncosfera*, que, atravesando las paredes del estómago, pasa al torrente circulatorio y a los músculos, donde se transforma en una larva llamada *cisticerco* (es un *escólex* invaginado). Al comer el hombre esta carne, del *cisticerco* sale el *escólex* de la futura tenia.



BIOTOPOS Y BIOCENOSIS

Las condiciones ambientales se presentan de una manera determinada y en un lugar definido, constituyendo un *biotopo* o ambiente biológico. Ejemplo: la zona litoral se caracteriza por estar batida por el oleaje, por poseer buena iluminación y por sufrir grandes oscilaciones térmicas.

Clases de biotopos. — Se pueden señalar dos grandes biotopos: el *acuático* y el *terrestre*; en el primero se distinguen el ambiente marino y el de las *aguas continentales*; en el segundo, el ambiente de la superficie terrestre o *epígeo* y el subterráneo, o *hipogeo*. Estos biotopos condicionan las formas de vida en ellos: los habitantes del biotopo acuático han de tener típicamente respiración cutánea o branquial, y su fecundación es externa; los habitantes del biotopo terrestre han de respirar por tráqueas o pulmones, y su fecundación ha de ser interna.

En el mar se pueden distinguir tres regiones biológicas: la región *litoral*, la región *pelágica* y la *abisal*. La *región litoral* está sometida al embate de las olas; por ello los organismos que viven en ella necesitan un fuerte caparazón que los proteja (erizos y estrellas de mar, moluscos y crustáceos) o han de permanecer adheridos a las rocas, como las lapas, las actinias y los cefalópodos; también hay organismos que viven en tubos fabricados por ellos, como los gusanos, o bien fijos en las rocas por un pedúnculo.

La *región pelágica* es tranquila y corresponde a la zona de alta mar; los organismos que viven en ella tienen esqueleto poco desarrollado y órganos para la flotación. La *región abisal* es la de los grandes fondos, caracterizada por la falta de luz, temperatura fría y gran quietud; sus habitantes deben, pues, alimentarse de los restos de vegetales y animales que moran en la superficie.

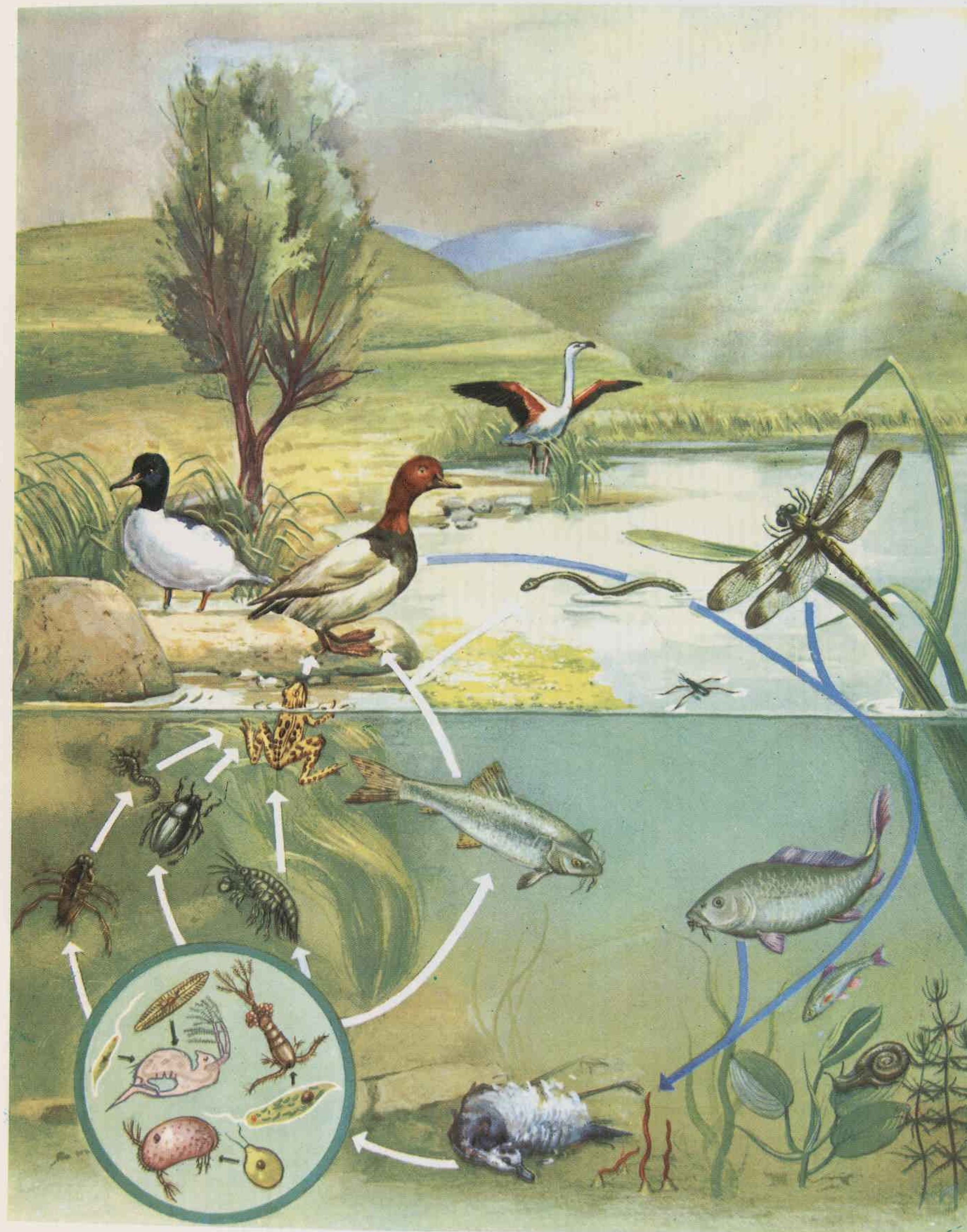
En el *medio terrestre* los organismos han de contar con una organización adecuada para defenderse contra la sequedad y presentan formaciones esqueléticas que les dan cierta rigidez. Las plantas han de tener raíces para fijarse en el suelo; los animales deben poseer órganos locomotores adecuados para soportar el peso del cuerpo. Dentro del medio terrestre hay otros biotopos concretos caracterizados por condiciones precisas, que determinan adaptaciones de las especies. De este modo se encuentran varios tipos de

animales: *terrácolas*, que viven sobre el suelo, con gran desarrollo de las patas para el salto (canguros) y la carrera (caballo); *acuícolas*, que habitan las orillas de las aguas: las aves poseen membranas interdigitales para nadar, como los patos, o largas extremidades que les permiten caminar sobre el fondo, como las cigüeñas y flamencos; los mamíferos acuícolas, al igual que el castor, tienen un pelaje denso. Los animales *aerícolas* pasan gran parte de su vida en el aire, tales los insectos, aves y murciélagos, y tienen *alas* para volar. Los animales *hipogeos* hacen vida subterránea y se caracterizan porque han de abrirse paso entre la tierra, ya por medio de patas anteriores en forma de pala, como los topos, ya alargando el cuerpo, que toma aspecto vermiforme.

En la flora terrestre, las condiciones ambientales producen tres tipos básicos de agrupación vegetal: el *bosque*, el *matorral*, caracterizado por las matas leñosas de porte bajo, y la *pradera*, constituida principalmente por gramíneas.

Biocenosis. — Los seres vivos que ocupan un biotopo determinado están íntimamente relacionados entre sí: los individuos que pueblan una laguna establecen interdependencias entre ellos, de tal modo que los vegetales sirven de alimento a los animales herbívoros (caracoles, peces, insectos), y éstos, a su vez, alimentan a los carnívoros (ranas, serpientes), los cuales, con sus excrementos y, después, ya muertos, con su descomposición, devuelven al fondo del estanque la materia mineral sustraída por los vegetales, por lo que estos últimos pueden volver a iniciar el ciclo. Hay un trasiego continuo de materia mineral de los seres autotrofos a los heterotrofos y viceversa. El conjunto de organismos interdependientes que habitan un biotopo determinado constituye una biocenosis.

Biogeografía. — Las especies están distribuidas según regiones propias, fuera de las cuales ya no se las encuentra. Estas *áreas de dispersión* pueden ser más o menos extensas. Según la composición de sus formas se distinguen cinco regiones faunísticas terrestres (véase lámina L₁): regiones *índica*, *etiópica*, *neotropical*, *holártica* (con dos subregiones, *paleártica* y *neártica*) y la *australiana*, separada ésta, de la *índica*, por la línea de Wallace.



En el equilibrio biocenótico, la cantidad de materia que pasa al estado orgánico por la fotosíntesis es la misma que vuelve a la laguna por la descomposición de los organismos, obteniéndose del sol la energía necesaria para mover este ciclo.

**CUADRO
DE MATERIAS
E ÍNDICE**

OBJETO Y MÉTODOS DE LA BIOLOGÍA

Elementos biogenéticos A/1

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS SERES VIVOS

Principios inmediatos. Importancia del agua y de las sales minerales. Combinaciones del Carbono A/2
Glúcidos: mono y disacáridos. Polisacáridos péptidos poli y heterósidos A/3
Lípidos y lipoides. Prótidos: aminoácidos, proteínas y protaminas A/4
Histonas, escleroproteínas, albúminas, globulinas proteidos y ácidos nucleicos. Estructura molecular y duplicación del ADN A/5

FENÓMENOS CAUSADOS POR LAS MEMBRANAS

Soluciones. Diálisis. Cristaloides y coloides. Ósmosis. Soles y geles B/1

LA CÉLULA

Morfología. Núcleo. Citoplasma y órganos citoplasmáticos. Paraplasma C/1

ESTRUCTURA DE LOS ÓRGANOS CITOPLASMÁTICOS

Condrioma. Plastos. Aparato de Golgi. Retículo endoplásmico y ribosomas. Centrosoma C/2

CROMOSOMAS Y MEMBRANAS

Estructura de un cromosoma. Cromosomas humanos. Los genes y los «puffs». Núcleo de las bacterias. Membranas nuclear y plasmática C/3

DIVISIÓN CELULAR

División del núcleo por mitosis: profase, metafase, anafase y telofase. Amitosis. División plasmática. Causas de la división celular C/4

CULTIVO Y FORMA DE LAS BACTERIAS

..... D/1

LOS VIRUS

..... D/2

SINCICIOS Y COLONIAS

Plasmodios y sincicios. Colonias celulares. Individuos pluricelulares. Tejidos E/1

TEJIDOS VEGETALES

Meristemas. Tejidos parenquimáticos, epidérmico, suberoso, conductores y de sostén E/2

MÚSCULO ESTRIADO, RED NERVIOSA, SANGRE

..... E/3

MÚSCULOS Y NERVIOS. LA NEURONA

..... E/4

TEJIDOS EPITELIAL Y DE TIPO CONJUNTIVO

Tejidos adiposo, cartilaginoso y óseo E/4

ENZIMAS Y SUS PROPIEDADES

Constitución de los enzimas y su clasificación F/1

LAS VITAMINAS Y SUS PROPIEDADES

Vitaminas bidrosolubles: complejo vitamínico B y vitamina C. Vitaminas liposolubles: vitaminas A,D,E y K F/2

GLÁNDULAS DE SECRECIÓN INTERNA

Páncreas, cápsulas suprarrenales, tiroides y sexuales.... F/3
Hipófisis o cuerpo pituitario, paratiroides, timo y epífisis F/4

ESTUDIO DE LA FOTOSÍNTESIS

..... F/4

CICLOS DEL C, N, S y P

..... F/5

APARATO DIGESTIVO

Vacuolas, cavidad y tubo digestivos. Aparato digestivo humano F/6

DIGESTIÓN DE LOS ALIMENTOS

Masticación e insalivación. Digestiones gástrica e intestinal. Plantas carnívoras F/7

LÍQUIDOS CIRCULATORIOS

Formación de las células sanguíneas. Plasma y linfa. Coagulación y anticuerpos de la sangre F/8
Grupos sanguíneos y circulación F/9

ÓRGANOS PARA LA RESPIRACIÓN

Respiración de los animales. Aparato respiratorio humano G/1

METABOLISMO

Metabolismo de los glúcidos. Síntesis del ATP. Oxidación de la glucosa. Metabolismo de lípidos y prótidos G/2

FUNCIONES DE RELACIÓN

Movimientos de órganos de plantas. Desplazamiento de organismos unicelulares H/1

REPRODUCCIÓN ASEXUAL

Multiplicación vegetativa de los vegetales Multiplicación de los Metazoos. Reproducciones por gemación, por escisiparidad y por esporulación I/1

REPRODUCCIÓN SEXUAL

Sus clases. Morfología de los gametos. Órganos sexuales y sexo. Formación de los gametos I/2
Meyosis. Organismos haplontes y diplontes. La fecundación. La partenogénesis I/3

DESARROLLO EMBRIONARIO Y POSEMBRIONARIO

Formación de la mórula, de la blástula y de las hojas embrionarias. Desarrollo posembriionario I/1
El embrión en los vegetales. Metamorfosis. El huevo y sus dependencias en los vertebrados I/2

GENÉTICA

Raza pura y raza híbrida. Mutaciones. Mendelismo. Monobibridismo K/1

LEYES DE MENDEL

Monohibridismos con dominancia e intermedio. Primera ley de Mendel. Composición de la F₂. Segunda ley de Mendel K/2
Dihibridismo. Tercera ley de Mendel K/3

HERENCIA DEL SEXO Y LIGAZÓN DE CARACTERES

Genes ligados (linkage) K/3

ENTRECruzamiento y HERENCIA LIGADA AL SEXO

Herencia mendeliana en el hombre K/4

ADAPTACIÓN AL MEDIO

Los factores ambientales. Adaptaciones a la temperatura y al agua L/1

ASOCIACIONES BIOLÓGICAS

Parasitismo L/2
..... L/3

BIOTOPOS Y BIOCENOSIS

Clases de biotopos. Biocenosis. Biogeografía L/4

SERIE A

A/1.—Composición química de la materia viviente.

A/2.—	»	»	»
A/3.—	»	»	»
A/4.—	»	»	»
A/5.—	»	»	»

SERIE B

B/1.—Propiedades físicas del protoplasma.

SERIE C

C/1.—Morfología y estructura de la célula.

C/2.—	»	»	»
C/3.—	»	»	»
C/4.—	»	»	»

SERIE D

D/1.—Bacterias y virus.

D/2.—	»	»
-------	---	---

SERIE E

E/1.—Agrupaciones celulares y tejidos.

E/2.—	»	»	»
E/3.—	»	»	»
E/4.—	»	»	»
E/5.—	»	»	»

SERIE F

F/1.—Nutrición de los organismos.

F/2.—	»	»	»
F/3.—	»	»	»
F/4.—	»	»	»

F/5.—Nutrición de los organismos.

F/6.—	»	»	»
F/7.—	»	»	»
F/8.—	»	»	»
F/9.—	»	»	»

SERIE G

G/1.—Respiración y metabolismo.

G/2.—	»	»
-------	---	---

SERIE H

H/1.—Excitabilidad de la materia viva.

SERIE I

I/1.—Funciones de reproducción.

I/2.—	»	»
I/3.—	»	»

SERIE J

J/1.—Desarrollo de los animales y vegetales.

J/2.—	»	»	»
-------	---	---	---

SERIE K

K/1.—La herencia biológica.

K/2.—	»	»
K/3.—	»	»
K/4.—	»	»

SERIE L

L/1.—Adaptación al medio y ecología.

L/2.—	»	»	»
L/3.—	»	»	»
L/4.—	»	»	»